Forstliche

Bodenkunde und Klimatologie.

Lehrbuch

der

forstlichen

Bodenkunde und Klimatologie

von

Dr. Gustav Heyer,

Großherzoglich Hessischem Professor der Forstwissenschaft an der Ludwigs-Universität und Oberförster der Oberförsterei Gießen.

Mit 183 in den Text eingedruckten Holzschnitten, einer lithographirten schwarzen und zwei Farbentafeln.

Erlangen.

Verlag von Ferdinand Enke.

1856.

Schnellpressendruck von C. H. Kunstmann in Erlangen.

Vorwort.

Der Verfasser der vorliegenden Schrift ist von der Ansicht ausgegangen, daß die forstliche Bodenkunde und Klimatologie blos den Einfluß anzugeben haben, welchen der Boden und die Meteore auf die Waldvegetation äußern, daß aber die Lehre von der Entstehung des Bodens und von den Meteoren sachgemäß der Geognosie und Meteorologie zugetheilt werde. Wenn er trotzdem die beiden letztgenannten Wissenschaften in seiner Schrift abgehandelt hat, so bestimmte ihn hierzu die Ueberzeugung, daß wir bis jetzt keine Lehrbücher der Geognosie und Meteorologie besitzen, welche dem Bedürfniß des Forstmanns vollkommen angepaßt wären. Wahrscheinlich wird sich dies bald ändern; einige Naturforscher haben angefangen, blos für das forstliche Publikum zu schreiben, und es ist zu erwarten, daß den Schriften von Döbner und Schacht bald Werke mit ähnlicher Tendenz auf andern Gebieten der Naturwissenschaften folgen werden.

Die Lehre von der Entstehung des Bodens und von den Meteoren hat der Verf. in einen „Vorbereitenden Theil" verwiesen, den Einfluß aber, welchen dieselben auf die Waldvegetation ausüben, in einem „Angewandten Theil" abgehandelt. Die einzelnen Bücher dieses letzteren Theils entsprechen den gleichnamigen Rubriken des „Vorbereitenden Theils"; nur das Buch „vom Druck der Luft" kommt blos in letzterem vor, weil es hauptsächlich wegen des Zusammenhangs der barometrischen Erscheinungen mit der Temperatur und den Hydrometeoren, sowie wegen der barometrischen Höhenmessung eingefügt wurde. Der Einfluß des Bodens auf die Waldvegetation wurde getrennt, nach seiner chemischen und physikalischen Wirkung, abgehandelt; die Gründe, welche den Verf. zu einer solchen Sonderung bestimmen konnten, wird der geneigte Leser am besten aus dem Buche selbst entnehmen.

Die Haupt-Aufgabe, welche der Verf. der vorliegenden Schrift sich gestellt hat, besteht darin, die Naturwissenschaften in eine engere und unmittel-

bare Beziehung zu dem practischen Forstwesen, namentlich zum Waldbau zu bringen, in so weit letzterer die forstliche Bodenkunde und Klimatologie als Hülfswissenschaft voraussetzt. Dieses Ziel hat er bei der Abfassung des angewandten Theils fortwährend im Auge behalten.

Die Naturwissenschaften haben bisher mehr dazu gedient, die bereits durch die Erfahrung gefundenen Regeln zu erläutern und zu begründen, als neue Normen für die Bewirthschaftung der Wälder festzustellen. Indessen ist der Dienst, welchen sie hierdurch dem Forstmann leisten, schon groß; nur Derjenige, welcher die Ursachen der Erscheinungen kennt, ist sich der Gründe seiner Handlungsweise bewußt, und steht nicht rathlos da, wenn die Erscheinungen in veränderter Form auftreten.

Die Beziehungen, in welchen die Naturwissenschaften zu der forstlichen Praxis stehen, werden sich aber deutlicher zeigen, wenn man einmal anfängt, an die Stelle zufälliger Beobachtungen, wie sie der Augenblick von ungefähr darbietet, genaue statische Untersuchungen zu setzen. Möchten die Bemühungen des Herrn von Wedekind und des Vaters des Verf., C. Heyer, welche schon vor Jahren mit bedeutenden pecuniären Opfern das Feld der forstlichen Statik einer allgemeinen Bebauung zu öffnen suchten, bald von dem verdienten Erfolge begleitet sein; möchten insbesondere Diejenigen, welche eine rasche und gründliche Fortbildung unserer Wissenschaft wünschen, wohl bedenken, daß der einzige Weg, welcher hier zum Ziele führt, in der Anstellung forststatischer Untersuchungen besteht.

Schließlich statte ich noch Herrn Ferdinand Muhl, gegenwärtig Forstmeister des Steiermärkischen Forstvereines zu Gratz, meinen herzlichen Dank für die Unterstützung ab, welche er mir bei der Ausführung der am Schlusse des Werkes befindlichen Tafeln zu leisten die Güte hatte.

Gießen, im November 1855.

Gustav Heyer.

Inhalt.

Einleitung.

Vorbereitender Theil.

Die Lehre von der Entstehung und den Eigenschaften des Bodens und von den Meteoren.

Einleitung.

Begriff, Eintheilung und Literatur der forstlichen Bodenkunde und Klimatologie.

1. Begriff.

Die forstliche Bodenkunde und Klimatologie lehren den wechselseitigen Einfluß kennen, welcher zwischen dem Boden und dem Klima einerseits und der Waldvegetation anderseits besteht. Unter „Klima" verstehen wir mit A. v. Humboldt die Gesammtwirkung der Meteore, unter Meteor (von **μετέωρος** = Alles, was über der Erde ist und vorgeht) die Atmosphäre und die in ihr vorkommenden Erscheinungen.

2. Eintheilung.

Die forstliche Bodenkunde und Klimatologie wird sachgemäß in zwei Theile gegliedert, von denen der erstere die Wirkung des Bodens und der Meteore im Einzelnen angibt, während der andere sich mit dem Gesammteinfluß beschäftigt, welchen der Boden und das Klima auf die Waldvegetation oder diese auf die erstgenannten äußern.

Bei dieser Eintheilung ist die Kenntniß der Entstehungsweise und der physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens und der Meteore vorausgesetzt, und eigentlich dürften diese Gegenstände beim Vortrage der forstlichen Bodenkunde und Klimatologie nicht abgehandelt werden, weil sie bereits in besondern Theilen der Naturwissenschaften — der Geognosie und Meteorologie — ihre Stelle finden. Da aber dasjenige, was der Forstmann aus diesen beiden Disciplinen für den vorliegenden Zweck zu wissen nöthig hat, in den naturwissenschaftlichen Lehrbüchern gewöhnlich entweder zu umfangreich, oder zu kurz dargestellt wird, so erachtet es der Verfasser, nach dem Beispiel

anderer Autoren, dermalen für zweckmäßig, diejenigen Sätze aus der Geognosie und Meteorologie, welche in der forstlichen Bodenkunde und Klimatologie Anwendung finden, in einem „Vorbereitenden Theil" vorauszuschicken. Der „Angewandte Theil" wird dann unsere Wissenschaft so, wie sie unter 1. definirt wurde, enthalten.

3. Literatur.

Kein Zweig des Forstfachs ist so in der Journalliteratur bearbeitet worden, wie die forstliche Bodenkunde und Klimatologie. Die Lehrbücher, von welchen wir nachstehend die besten aufführen, behandeln mehr dasjenige, was wir in den „Vorbereitenden Theil" verwiesen haben.

Die Bodenkunde in land- und forstwirthschaftlicher Beziehung, von J. Chr. Hundeshagen. Tübingen 1830.

Die Lehre vom Klima in land- und forstwirthschaftlicher Beziehung, von J. Chr. Hundeshagen, herausgegeben von J. L. Klauprecht. Karlsruhe 1840.

Luft-, Boden- und Pflanzenkunde in ihrer Anwendung auf Forstwirthschaft, von Th. Hartig. (Bildet den ersten Band der 9ten Auflage des von Th. Hartig herausgegebenen „Lehrbuchs für Förster" von G. L. Hartig). Stuttgart und Tübingen 1851.

Gebirgskunde, Bodenkunde und Klimalehre in ihrer Anwendung auf Forstwirthschaft, von C. Grebe. Eisenach 1853.

Vorbereitender Theil.

Die Lehre von der Entstehung und den Eigenschaften des Bodens und von den Meteoren.

Erstes Buch.

Entstehung der festen Erdrinde und des Bodens.

Erster Abschnitt.

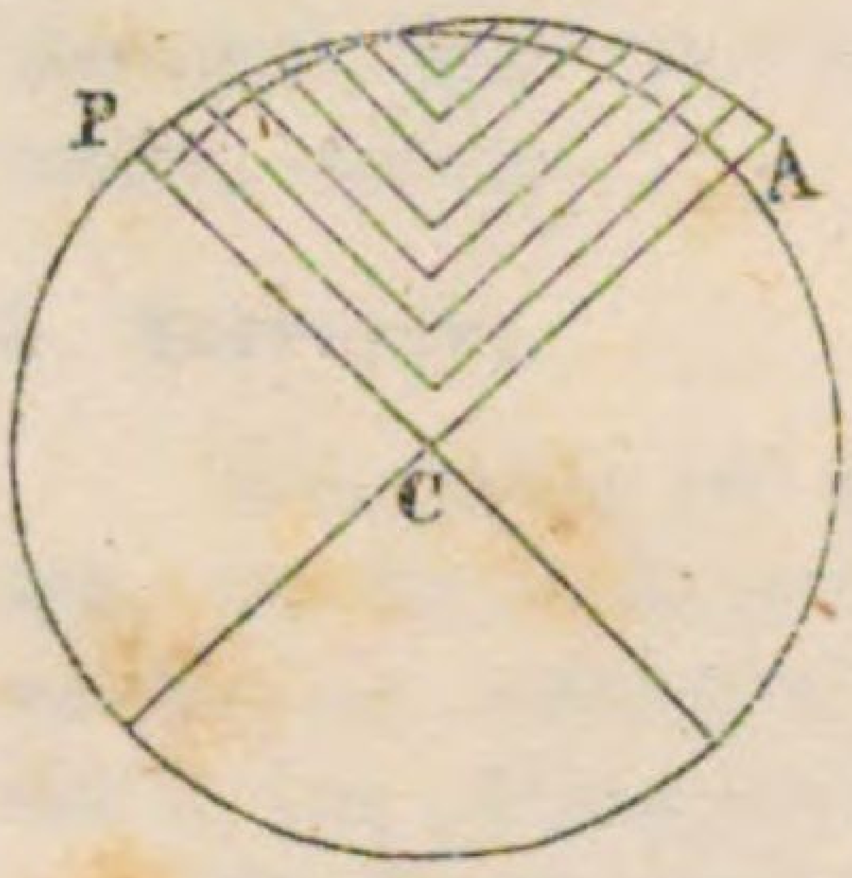
Einleitung.

1. Erklärung der Erdgestalt.

Die in neuerer Zeit mit großer Bestimmtheit nachgewiesene Zunahme der Erdtemperatur von der Oberfläche nach dem Mittelpunkt hin, die Erscheinungen der warmen Quellen und Vulkane und die Beschaffenheit der sogenannten plutonischen Gesteine (von denen wir demnächst handeln werden) machen es sehr wahrscheinlich, daß die Erde früher einmal feuerflüssig gewesen sei. War dieses, wie man kaum bezweifeln kann, der Fall, dann mußte dieselbe, in Folge der täglichen Umdrehung um ihre Axe, eine ellipsoidische Gestalt annehmen. Dies geht aus nachstehender Betrachtung hervor. Offenbar haben diejenigen Punkte der Erde, welche am Aequator liegen, eine größere Geschwindigkeit, als die Punkte in der Nähe des Pols, denn erstere beschreiben in der nämlichen Zeit einen viel längern Weg, als die letztern. Die Schwerkraft, welche an allen Theilen der Erde wirkt, sucht die Körper dem Erdmittelpunct zu nähern, durch die Umdrehung der Erde wird den Körpern das Bestreben mitgetheilt, sich in der Richtung der Tangente von der Erde zu entfernen (Centrifugalkraft). Beide Kräfte, die Schwerkraft und die Centrifugalkraft, wirken einander entgegen. Da nun, wo die Centrifugalkraft am stärksten ist, wie am Aequator, wird die Schwerkraft am meisten von ihrer Quantität einbüßen; die Körper werden demnach um so schwerer sein, je

näher sie dem Pole liegen. Denken wir uns, die Erde sei flüssig gewesen und zerlegen wir dieselbe in lauter kommunicirende Röhren PCA, so mußte die Flüssigkeit im Aequatorialschenkel AC leichter sein, als im Polarschenkel PC; zur Herstellung des Gleichgewichts war es deßhalb nothwendig, daß die Flüssigkeit im Schenkel PC sank und in den Schenkel AC eintrat, welcher Umstand dessen Verlängerung zur Folge hatte. Die zuverlässigsten Messungen haben ergeben, daß die Länge der Polaraxe zu derjenigen der Aequatorialaxe sich verhält, wie 288: 289.

Fig. 1.



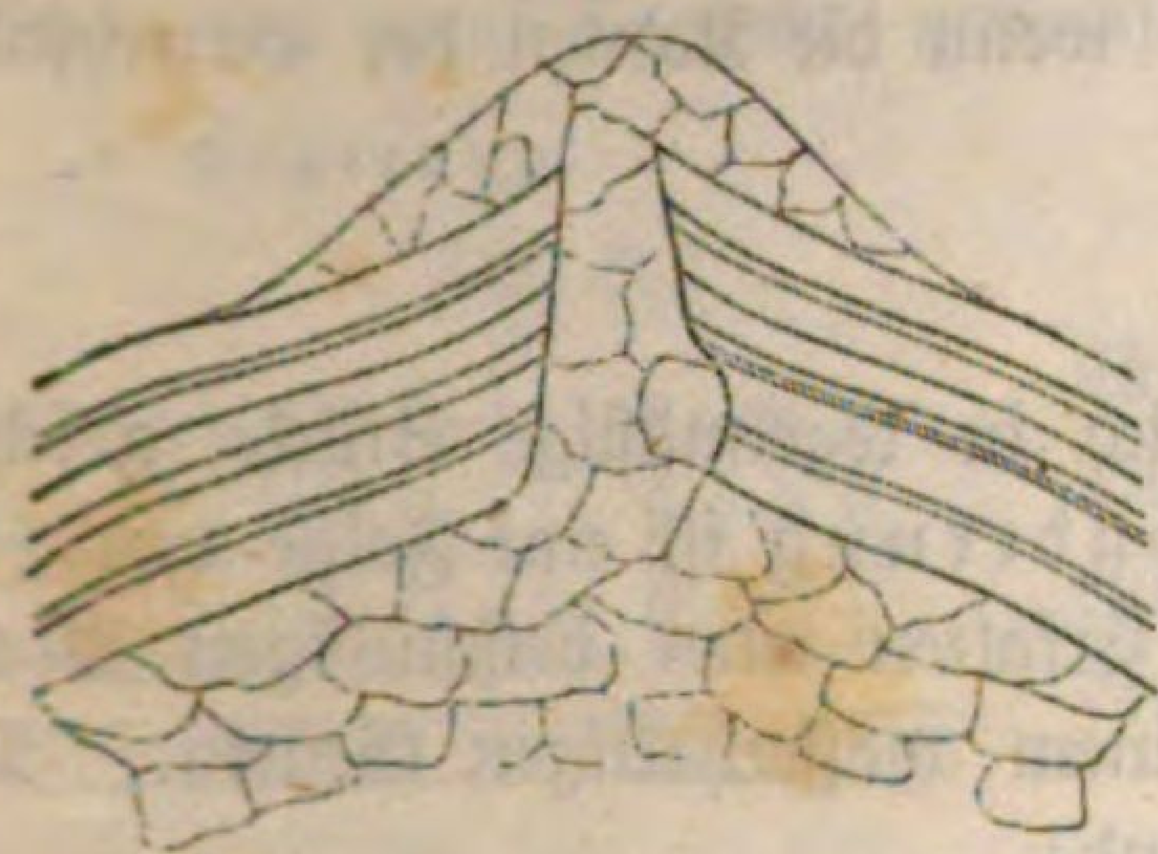
2. Entstehung der neptunischen und plutonischen Gesteine.

Bei fortschreitender Erkaltung wurde die Oberfläche der Erde fest. Es liegen viele Gründe für die Annahme vor, daß die sogenannten krystallinischen Schiefergesteine (Thonschiefer, Glimmerschiefer und Gneiß) das erste Erstarrungsproduct ausmachen. Diese Gesteine wurden durch das mittlerweile condensirte Wasser und die in demselben gelöste Kohlensäure zersetzt. So entstanden wieder neue, von den ursprünglichen verschiedene, Gesteinsarten, welche man, mit Rücksicht auf ihre Bildungsweise, neptunische oder auch sedimentäre (aus Wasser abgesetzte), oder auch, da sie in regelmäßigen Schichten abgelagert sind, normale Gesteine genannt hat. Die neptunischen Gebilde erzeugten sich, wie die in ihnen enthaltenen Reste von Animalien beweisen, zum größten Theil auf dem Grunde von Meeren und Seen. Sie zeigen in so fern eine große Regelmäßigkeit in ihrer Aufeinanderfolge, als die relative Lage eines sedimentären Gesteins gegen das andre immer die nämliche bleibt. Diejenigen neptunischen Bildungen, welche nach der Art ihrer Entstehung und ihres Fortkommens zu einander gehören, hat man, zur leichtern Uebersichtlichkeit, in Gruppen vereinigt. Man unterscheidet: die Grauwacken-, Steinkohlen-, Permische-, Trias-, Jura-, Kreide-, Molasse-, Diluvial- und Alluvial-Gruppe, wobei von den ältesten Gebilden ausgegangen ist. Die Gruppen zerfallen wieder in Formationen, die Formationen in Glieder. Indessen kommen diese Gruppen an den wenigsten Orten der Erde in der angegebenen Ordnung vollzählig vor, oft fehlen einzelne Gruppen oder Formationen. So trifft man z. B. die Molasse manchmal unmittelbar über der Grauwacke, so daß also die Steinkohlen-, Permische-, Trias-, Jura- und Kreidegruppe nicht ausgebildet sind.

Da die äußersten Lagen der Erdoberfläche bei ihrer Erstarrung sich zusammenzogen, so wurde die innen befindliche Flüssigkeit zusammengepreßt. Sie entwich, indem ihr Druck Spalten und Risse in der festen Kruste bildete. Durch diese Oeffnung drang nun auch tropfbar flüssiges Wasser ein; dieses verwandelte sich in Berührung mit dem heißen Kern in Dampf, welcher, ver-

möge seiner Expansionskraft, sowohl die Kruste hob, als auch Parthien der heißen Flüssigkeit an die Oberfläche emporführte. So entstanden die plutonischen Eruptivgesteine, von denen man die jüngern vulkanische nennt. Weil sie keine regelmäßige Schichtung zeigen, hat man ihnen auch die Benennung „abnorme" Felsarten zugelegt. Die flüssigen Ausbrüche aus dem Erdinnern fanden nicht sämmtlich auf einmal, sondern in verschiedenen Zeiträumen statt, und die in jedem derselben entstandenen Felsarten weichen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung von den früher gebildeten ab. Die einmal vorhandenen plutonischen Gesteine gaben wieder Material zur Bildung von neptunischen Gesteinen ab.

Fig. 2.



Auch die plutonischen Gesteine hat man, vorzüglich nach der Zeit ihrer Entstehung, in Gruppen geschieden. Diese Gruppen sind, von der ältesten zur jüngsten gerechnet, folgende: Granit, Grünstein, Porphyr, Melaphyr, Basalt, Vulkanische Gebilde.

3. Textur, Structur, Absonderung und Lagerung der Gesteine.

a. Textur und Structur.

Die Gesteine sind theils einfache (wenn sie nur aus einer und derselben Mineralart bestehen), theils gemengte. Nach der Art, in welcher die Theile verbunden sind, unterscheidet man

Fig. 3.



α. Körnige Textur, wenn das Gestein aus einzelnen Körnern zusammengesetzt ist, deren Länge, Breite und Höhe nicht sehr verschieden ist. Haben die Körner Krystallform, so heißt das Gestein krystallinisch; oolithisch (Fig. 3.) wird es genannt, wenn die Körner kleine Kugeln bilden.

β. Dichte Textur. Die einzelnen Theile lassen sich mit bloßem Auge nicht mehr herausfinden.

Schieferig nennt man ein Gestein, welches sich nach einer Richtung hin vorzugsweise leicht trennen läßt, porphyrartig, wenn aus einer gleichartigen Grundmasse einzelne Krystalle hervortreten, blasig, wenn Höhlungen in ihm vorkommen, mandelsteinartig, wenn diese Höhlungen mit einem

Fig. 4.



Mineral ausgefüllt sind, drusig (Fig. 4.), wenn die Höhlungen eine Krystallbekleidung haben, breccienartig, wenn das Gestein aus eckigen Bruchstücken eines andern Gesteins sich gebildet hat, conglomeratartig, wenn die Kanten der Bruchstücke abgerundet sind.

b. **Absonderungsformen.**

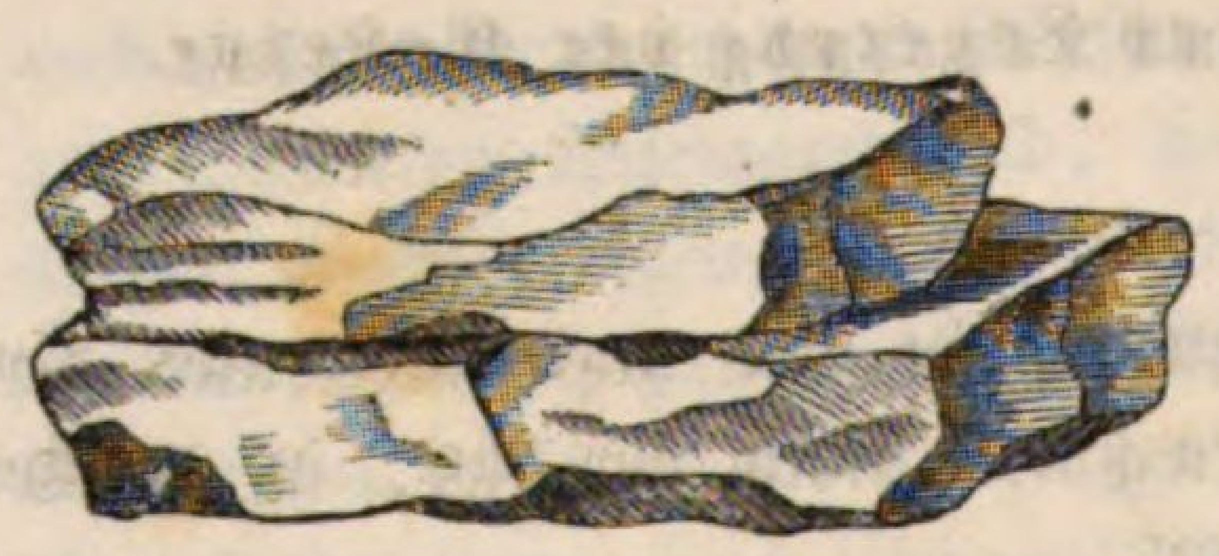
Viele Gesteine zeigen sich in regelmäßige Stücke geschieden, abgesondert. Die Absonderung ist eine Folge von Zusammenziehung. Diese fand statt beim Erkalten einer heißflüssigen Masse oder beim Verdunsten des Wassers aus einem wasserhaltigen Gestein. Die bemerkenswerthesten Absonderungsformen sind:

Fig. 5.



α. Die unregelmäßig-massige, wenn das Gestein aus formlosen Stücken besteht. Diese Absonderungsart findet sich vorzüglich bei Granit, Syenit, Grünstein, Porphyr, Melaphyr, Basalt, Phonolit, Trachyt, Lava.

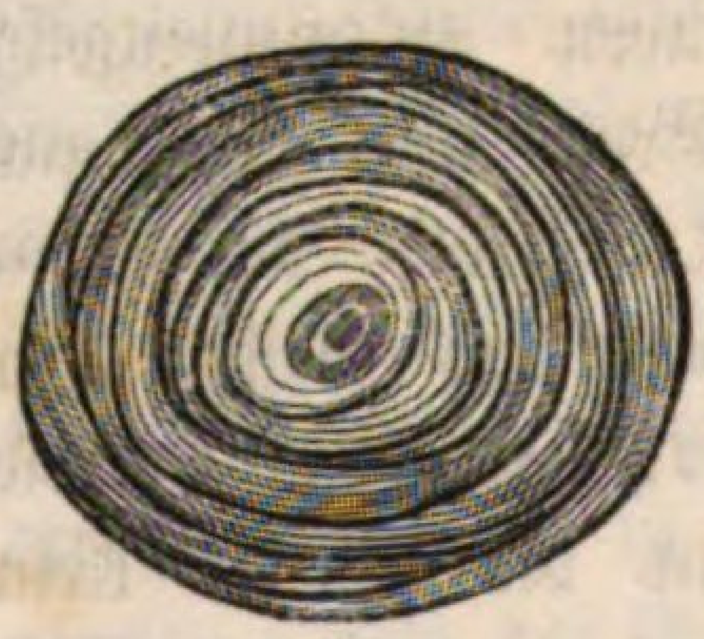
Fig. 6.



β. Die plattige, wenn die abgesonderten Stücke eine verhältnißmäßig geringe Dicke besitzen, ohne daß gerade eine bedeutende Längenausdehnung vorhanden ist.

γ. Die kugelige; häufig in Verbindung mit

Fig. 7.



δ. der concentrisch-schaligen. Nicht blos plutonische Gesteine (Granit, Porphyr, Basalt u. s. w.), sondern auch sedimentäre Bildungen (Grauwacke, Sandstein, Gyps, Kalk) haben diese Absonderungsform aufzuweisen.

ε. Die säulenartige, (Fig. 8. Basaltsäulen).

Fig. 8.



Schichtung ist eine besondere Art der Absonderung, die am meisten mit der plattigen übereinkommt, sich aber von dieser dadurch unterscheidet daß die einzelnen Lagen des Gesteins nicht gleichzeitig, sondern nach einander gebildet worden sind. Die Schichten sind entweder blos durch leere Räume

— Klüfte —, oder durch Lagen eines andern Gesteins getrennt. Die Schichten besitzen unterschiedliche Dicke, fast immer ist aber die letztere (die Mächtigkeit) nur ein geringer Bruchtheil der Längenausdehnung der Schicht. Alle Lagen der Schichte sind, so lange sie nicht gewaltsam verschoben wurden, einander parallel.

c. **Lagerung.**

Fig. 9.

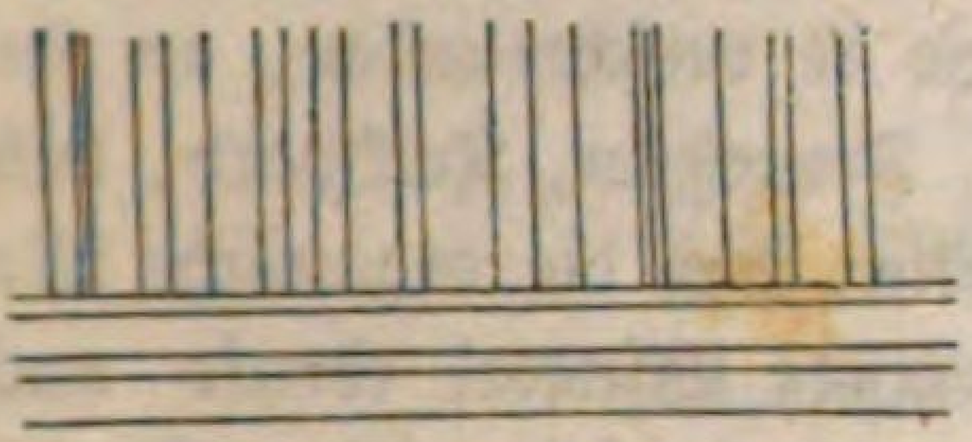
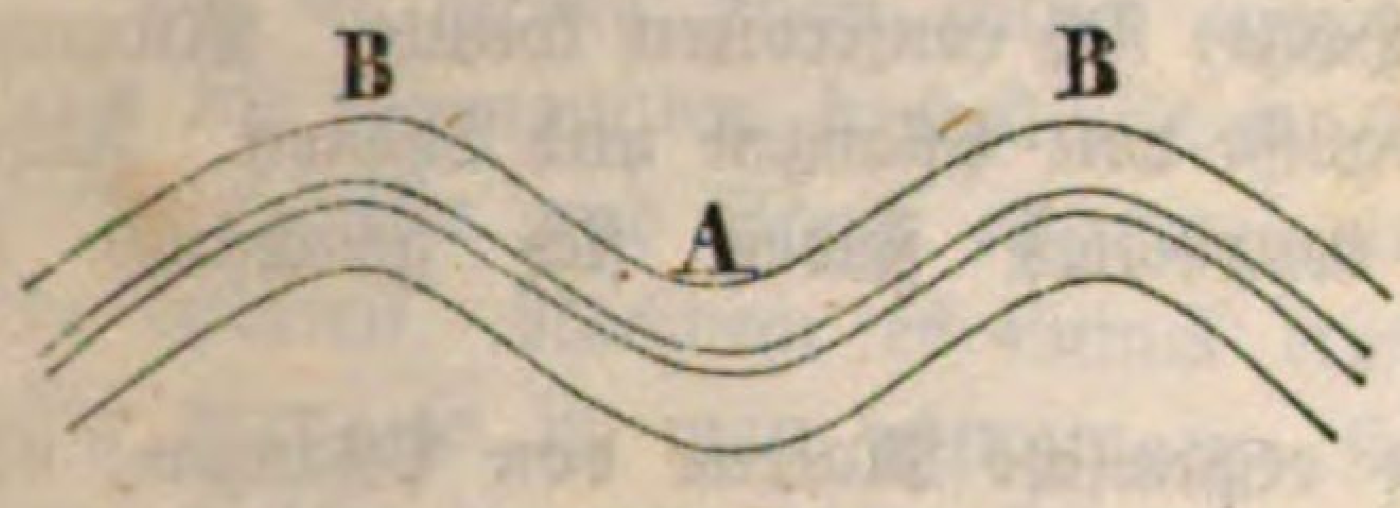


Fig. 10.



Stehen die Lagen einer Schicht mit ihrer Längserstreckung senkrecht auf der Breite oder Dicke einer andern Schicht, so heißt die Lagerung übergreifend. Sind die Lagen gewunden, so unterscheidet man Mulden (A) und Sättel (B). Den Winkel, welche eine Schicht mit der Horizontalen bildet, nennt man ihr Fallen, die Richtung, welche die Längenausdehnung einer Schicht einschlägt, ihr Streichen; die Durchschnittslinie der Schichtenfläche mit der Horizontalen ist die Streichungslinie. Die Richtung des Streichens gibt der Winkel, den die Streichungslinie mit dem Meridian bildet, an. Das Streichen bleibt innerhalb eines Gebirgszuges von der nämlichen geognostischen Beschaffenheit gewöhnlich dasselbe, während das Fallen die mannigfachsten Verschiedenheiten zeigt.

4. Relatives Alter der Gesteine.

Von mehreren auf einander liegenden sedimentären Schichten sind stets die zu unterst befindlichen die ältern, d. h. die zuerst gebildeten, die oberen die jüngern. Die relative Lage der Felsarten gibt daher ein Mittel ab, um ihr Alter zu beurtheilen. Wie schon bemerkt, zeigt sich bei den neptunischen Felsarten in so fern eine große Regelmäßigkeit in der Lagerung, als die gegenseitige Stellung der Schichten, wenn diese, was indessen selten vorkommt, nicht gewaltsam gestört worden ist, immer dieselbe bleibt. So findet sich z. B. die Kreide stets über der Grauwacke, nie unter derselben. Dies kann auch zufolge der Entstehungsart der Sedimentärgesteine gar nicht anders sein, denn wenn eine Ablagerung aus Wasser stattfand, so mußte diese stets über die bereits vorhandenen Schichten erfolgen, sie konnte nicht unter denselben hinweg sich bilden.

Wenn ein plutonisches Gestein ein anderes plutonisches oder sedimentäres durchsetzt hat, so ist das durchsetzte immer älter, als das durchsetzende.

5. Versteinerungen.

Kommen zwei neptunische Gesteine von gleicher oder sehr ähnlicher Zusammensetzung an verschiedenen Orten vor, und ist die Bestimmung des Al-

ters aus den Lagerungsverhältnissen nicht möglich, so bietet die Kenntniß der **Versteinerungen** oder Petrefacten immer ein Mittel zur Feststellung des Alters dar. Unter diesen versteht man Reste von Organismen, welche blos in den neptunischen Gebilden sich vorfinden. Sie konnten sich bis auf die Gegenwart nur dadurch erhalten, daß sie fest vom Gestein eingeschlossen wurden, welches dem Sauerstoff der Luft den Zutritt verwehrte. Dadurch wurde die Verwesung abgeschnitten. Von sehr vielen organischen Resten sind nur die Formen übrig geblieben; die organische Materie ist verschwunden, an ihre Stelle traten Mineralien, wie Schwefelkies, Opal, Feuerstein, Kalkspath, dichter Kalk, Sandstein u. s. w. Man muß sich denken, daß die organische Materie nur allmählig austrat und daß das ausfüllende Mineral ebenso nach und nach sich ansetzte. Nur so läßt sich erklären, wie in sehr vielen Versteinerungen sowohl die äußern Formen, als auch die innere Organisation (z. B. Zellen und Gefäße beim verkieselten Holze) sich conserviren konnte. Mitunter sind die Versteinerungen auch nur Abgüsse von Pflanzen und Thieren. Fährten von Säugethieren, Vögeln, Amphibien finden sich gleichfalls in Abgüssen.

Noch am häufigsten hat sich die organische Materie von Pflanzen, obwohl mit veränderter Zusammensetzung erhalten; in allen fossilen Vegetabilien ist die relative Quantität des Kohlenstoffs gegenüber dem Sauerstoff und Wasserstoff überwiegend geworden. Fossile Knochen haben gewöhnlich den phosphorsauren Kalk bewahrt, die leichter zerstörbare Leimsubstanz dagegen ist verschwunden.

Die zuerst gebildeten Gesteine enthalten am wenigsten Petrefacten, und diese selbst befinden sich auf einer niedern Stufe der Organisation. Je jünger die geognostischen Gebilde sind, um so mehr nimmt der Artenreichthum der in ihnen begrabenen Organismen zu. In den jüngsten Gebirgsformationen finden sich auch Säugethiere, doch, ausschließlich des Alluviums, niemals Ueberreste von Menschen. Die Arten der den Versteinerungen zu Grund liegenden Organismen kommen gegenwärtig nicht mehr auf der Erde vor, wenn auch die Geschlechter mitunter mit den noch jetzt lebenden übereinstimmen.

Von den fossilen Pflanzen und Thieren finden sich Exemplare in Gegenden, welche nach ihrem gegenwärtigen Klima nicht geeignet sein würden, den nämlichen lebenden Geschlechtern zum Aufenthalt zu dienen (so z. B. Mammuth's, Elephanten in Sibirien). Für diese Thatsache mangeln bis jetzt genügende Erklärungen. Eher schon läßt sich das Vorkommen von Versteinerungen auf hohen Gebirgen (wie z. B. im Himalaja auf 16,000′ Meereshöhe) begreifen, da das Studium der Geognosie ergeben hat, daß in vorgeschichtlicher Zeit vielfache Hebungen der Gesteinsmassen durch die von Innen thätigen Kräfte der Erde stattfanden.

Jede Gesteinsgruppe besitzt ihre eigenthümlichen Arten von Petrefacten, die sich in keiner andern Gruppe oder Formation wiederfinden, die Verstei-

nerungen können daher, worauf schon oben hingewiesen wurde, zur Bestimmung und Klassificirung, sowie zur Altersermittlung der Gesteine dienen.

Dendriten sind Ueberzüge von Eisen, Mangan und andern Metalloxyden in Gestalt von Pflanzenabdrücken. Sie erscheinen sowohl im Innern, als auch auf den Kluftflächen der Gesteine.

Zweiter Abschnitt.

Die krystallinischen Schiefergesteine.

(Thonschiefer, Glimmerschiefer und Gneiß).

1. Entstehung.

Es ist bereits schon früher angegeben worden, daß wahrscheinlicher Weise die sogenannten krystallinischen Schiefergesteine, nämlich Thonschiefer, Glimmerschiefer und Gneiß es waren, welche die erste Erkaltungskruste der Erde bildeten. Nachdem es einmal erwiesen ist, daß die Erde früher heißflüssig war, so ist man gezwungen, sich nach denjenigeu Bildungen umzusehen, welche die erste solide Oberfläche der Erde ausgemacht haben, und da die krystallinischen Schiefergesteine unter allen neptunischen Formationen gelagert sind, so liegt nichts näher, als jene für das erste Erstarrungsproduct zu halten. Die Masse der krystallinischen Schiefergesteine besteht fast immer aus deutlichen Schichten, gerade so, wie sie sich bilden mußten, indem der heißflüssige Erdkörper von Außen nach Innen langsam erkaltete. Indessen gibt es auch Gneiße, denen man eine eruptive Bildung zuschreiben muß.

2. Zusammensetzung.

Die krystallinischen Schiefergesteine führen ihre Benennung von dem krystallinischen Gefüge. Sie unterscheiden sich dadurch von den meisten Schiefern in den Sedimentärformationen.

Der Gneiß besteht aus Feldspath, Quarz und Glimmer. Er stimmt hinsichtlich seiner Gemengtheile vollständig mit dem Granit überein, unterscheidet sich aber von demselben durch die schiefrige Structur. Der Feldspath ist im Gneiß meist feinkörnig enthalten und manchmal mit dem Glimmer auf das Innigste verbunden, so daß beide mit unbewaffnetem Auge kaum zu unterscheiden sind. Nicht selten fehlt der Quarz gänzlich. Der Glimmer findet sich gewöhnlich in abgesonderten Straten und bedingt dadurch die Schieferung; ist er mehr gleichförmig im Gestein zertheilt, so geht dieses, und wenn außerdem die schiefrige Structur aufhört, in Granit über. Dieser Uebergang findet sowohl allmählig, als auf einmal statt. Oft auch sind im Gneiße die Glimmerblättchen zu Häufchen vereinigt. Je mehr der Glimmer vorherrscht, je abgesonderter in parallelen Schichten derselbe vorkommt, um so vollkommener ist die Schieferung.

Der Glimmerschiefer besteht aus Quarz und Glimmer; auch bei ihm wird die schiefrige Structur gerade so, wie beim Gneiß, vorzüglich durch den Glimmer bedingt, doch kennt man auch deutlich geschieferte Varietäten dieses Gesteins, in denen der Glimmer zurücktritt und sogar ganz fehlt. Durch Aufnahme von Feldspath geht der Glimmerschiefer in Gneiß über. Ist in jenem der Glimmer durch Talk oder Chlorit vertreten, so heißt das Gestein Talk- oder Chloritschiefer. Der Talkschiefer ist gewöhnlich höchst feinkörnig. Er fühlt sich fettig an. Auch der Talkschiefer zeigt wieder Uebergänge in Gneiß und auch in Thonschiefer. Der Chloritschiefer kommt in seinem Ansehen dem Talkschiefer sehr nahe, unterscheidet sich aber von demselben durch die mehr grünliche Farbe.

Der Thonschiefer besteht nach den Untersuchungen von Sauvage aus Chlorit, einem Thonerdesilikat, aus Quarz nebst Eisen- und Manganoxydhydrat, denen kleine Mengen Feldspath und Glimmer beigemengt sind. Ziemlich richtig drückt sich die Zusammensetzung des Thonschiefers auch folgendermaßen aus: er hat die Elementarbestandtheile des Gneißes plus Talk. Sehr viele Thonschiefer sind durch Kohle schwarz gefärbt. Man kennt von unserem Gestein folgende ausgezeichnete Varietäten

a) den Dachschiefer. Dünne Platten, welche wieder aus ganz feinen abspaltbaren Blättern bestehen. Farbe schwarz, blauschwarz, grünlich oder grau.

b) Wetzschiefer. Dieser ist nicht so spaltbar, als der vorige, aber feinkörniger. Er besteht vorherrschend aus Kieselerde. Von Farbe ist er heller. Er geht häufig in Dachschiefer über.

c) Griffelschiefer ist ein in dünnen Säulchen abgesonderter Thonschiefer.

d) Fruchtschiefer. In dem Gestein finden sich schwarzgrüne Flecken von der Größe einer Linse.

Der Thonschiefer geht in Talkschiefer, Chloritschiefer, Gneiß, Glimmerschiefer über. Ist der Quarz in ihm vorherrschend, so hat man Kieselschiefer. Dieser bricht gewöhnlich beim Zerschlagen in Paralleltrapezen.

In der Grauwackengruppe kommen Thonschieferarten vor, welche denen der vorliegenden Gruppe sehr ähnlich sind, sich aber durch weniger krystallinisches Gefüge und durch Versteinerungen von dem Thonschiefer der krystallinischen Schiefergesteine unterscheiden.

3. Nebengesteine.

Die krystallinischen Schiefergesteine sind sehr häufig von Quarz-Gängen und Schnüren durchzogen, wodurch das Gestein ein geadertes Ansehen erhält. Wohl in den seltensten Fällen mag das Material der Quarzgänge aus dem heißflüssigen Erdinnern emporgedrungen sein, viel wahrscheinlicher ist es, daß diese Gänge und Schnüre auf neptunischem Wege entstanden sind. Mit aufgelöstem Kieselsäurehydrat beladenes Wasser sickerte in die Spalten des Ge-

steines ein, das Wasser verdunstete und die unlösliche Kieselerde blieb zurück. Die Quarzschnüre zum wenigsten, welche oft nur in Lamellen von der Dicke des Papiers in dem Thonschiefer vertheilt sind, können unmöglich einen andern Ursprung haben. Auf Kluftflächen findet sich nicht selten auch kohlensaurer Kalk als Kalkspath. Dieser ist unter jeder Bedingung ein neptunisches Product und wahrscheinlich aus dem Thonschiefer selbst durch den Verwitterungsprozeß entstanden. Auch Schwerspathgänge (schwefelsaurer Baryt) kommen im Thonschiefer vor.

Urkalk oder körniger Kalk findet sich, wiewohl im Ganzen nicht häufig, in der Gruppe der krystallinischen Schiefergesteine, vorzugsweise im Gneiß, als Ganggestein. Der Urkalk hat krystallinisches Gefüge; er war offenbar, als er sich bildete, in feuerflüssigem Zustande. Durch starken Druck wurde er gehindert, seine Kohlensäure an die Atmosphäre abzugeben. Bei Auerbach im Odenwalde kommt ein bedeutender Gang der Art im Gneiß vor.

4. Bergformen.

Der Gneiß bildet gewöhnlich ebene Lagen oder sanft ansteigende Hügel mit wellenförmigem Zuge, doch ist er auch von Schluchten durchsetzt, welche den vom Gneiß eingenommenen Gebieten viel von ihrer Einförmigkeit nehmen. Der Gneiß tritt bisweilen eruptiv auf und erscheint dann in derben Brocken.

Der Glimmerschiefer zeigt eine schon unregelmäßigere Oberflächengestaltung, als der Gneiß, mit welchem er indessen die wellenförmige Gestalt der Höhen gemein hat. Die Thäler im Glimmerschiefergebiet sind noch schroffer eingeschnitten und die Höhen stellenweise mit spitzen Zacken besetzt. Diese bemerkt man vorzüglich da, wo das Gestein mehr aus Quarz, als aus Glimmer besteht.

Der Thonschiefer vereinigt die Formen der vorgenannten beiden Gesteine. Gewöhnlich bildet er halbkugelförmige Berge oder steile Spitzen und Grate. Da, wo er vom Wasser zerrissen ist, zeigt er oft sehr romantische Parthien — tief eingeschnittene Thäler mit steilen Abhängen oder überhängenden Flußufern.

5. Verbreitung.

Die krystallinischen Schiefergesteine nehmen sehr bedeutende Gebiete auf der Erde ein und kommen nicht blos in Europa, soudern auch in Asien, Afrika und Amerika in ausgedehnten Lagern vor. Sie finden sich in den Alpen, welche sie hauptsächlich zusammensetzen, im Schwarzwald, Böhmer Wald, im Riesengebirge, Mährischen Gebirge, den Sudeten, dem Erzgebirge, dem Fichtelgebirge, im Harz, Odenwald, in Sachsen u. s. w.

Das Gestein, welches die Hauptmasse der höhern Berge des Taunus (Feldberg, Altkönig) zusammensetzt, gehört der Gruppe der krystallinischen Schiefergesteine an, wenn auch seine nähern Beziehungen zu diesen noch nicht hinlänglich erkannt sind. Vordem hielt man es für einen Glimmerschiefer, in welchem der

Glimmer durch Talk vertreten sei, bis List auf den geringen Bittererdegehalt aufmerksam machte. Nach List besteht das Taunusgestein aus Quarz und einem eigenthümlichen Mineral, von ihm Sericit genannt, welches sich durch Seidenglanz und grünlich weiße Farbe auszeichnet. Der Sericit kommt stellenweise auch in derben Massen vor.

6. Metamorphismus der krystallinischen Schiefergesteine.

Die auffallende Structur, sowie die Uebergänge, welche die krystallinischen Schiefergesteine in andere Felsarten, oft in ganz allmähligem Verlaufe zeigen, haben zu der Vermuthung Veranlassung gegeben, daß dieselben nicht mehr in der Zusammensetzung vor uns liegen, welche sie bei ihrer ursprünglichen Entstehung besaßen. Viele der ausgezeichnetsten Geologen nehmen daher an, daß zwar das ursprüngliche Material der fraglichen Gesteine in nichts anderem, als in der ersten Erstarrungskruste des heißflüssigen Erdkörpers bestanden habe, daß dagegen dasselbe im Verlauf der ungeheuren Zeiträume, welche von der ersten Consolidirung der Erdoberfläche bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt verflossen sind, mannigfachen Veränderungen und Einflüssen ausgesetzt gewesen sei. Als diejenigen Kräfte, welche diese Veränderungen bewirkten, werden bald die gewöhnlichen Agentien der Verwitterung, wie Kohlensäure, Wasser, Sauerstoff, bezeichnet, bald werden aber auch dafür außergewöhnliche Erscheinungen, wie das Aufsteigen von Gasen und Dämpfen aus dem Erdinnern, welche die ganze Masse des Gesteins durchdrungen haben sollen, zu Hülfe genommen. Jedenfalls läßt schon der Gehalt an Kohle, den die Thonschiefer oft ganz an ihrer Oberfläche zeigen, auf bedeutende Veränderungen, welche das ursprüngliche Bildungsmaterial erfahren haben muß, schließen. Man muß annehmen, daß die Kohle erst nach der Erkaltung des Gesteins in dasselbe hineingekommen ist, denn bei einem hohen Hitzgrad und bei Gegenwart von Metalloxyden wäre die Erhaltung der Kohle als solcher unmöglich gewesen. Welche von den oben angegebenen Hypothesen die richtigere sei, dies ist schwer zu entscheiden. Trotz der Unentschiedenheit der obschwebenden Frage hat man die Benennung: „krystallinische Schiefergesteine“ sehr häufig mit: „Metamorphische Gesteine“ vertauscht, so daß letztere Bezeichnung jetzt fast häufiger gebraucht wird, als erstere.

Dritter Abschnitt.

Die neptunischen oder sedimentären Gebilde bis zur Gruppe des Diluviums (einschl.).

1. Einleitung.

Wie früher bereits angegeben, scheinen die krystallinischen Schiefergesteine die ältesten geognostischen Bildungen der Erde zu sein. Nach ihrer Entstehung fanden nachweislich viele Hebungen und Senkungen des Landes statt die Vertiefungen füllten sich mit Wasser an uud bildeten Meere und Seen,

in welche, wie heutzutage, Flüsse und Bäche einmündeten. Durch Frost, Reibung des Wassers u. s. w. wurden die vorhandenen Gesteine zerkleinert, durch die Verwitterung aufgelöst; ihre Fragmente führten die atmosphärischen Wasser den Flüssen ꝛc. zu, letztere setzten sie nun wieder in den großen Wasserbassins ab. So entstanden auf deren Grunde Ablagerungen von Schlamm und größern oder kleineren Gesteinsbrocken, in Verbindung mit Resten von thierischen und pflanzlichen Organismen, welche entweder in diesen Meeren und Seen gelebt hatten, oder vom Lande her in sie hinein geschwemmt wurden. Die erdigen Ablagerungen erhärteten entweder durch ein in ihrer Masse befindliches Cäment (Kieselerde, Kalk, Eisenoxyd u. s. w.) oder blos in Folge des Drucks der über ihnen lastenden Wassersäule. Nach der Beschaffenheit des Wassers, welches in diesen Seen ꝛc. enthalten war, unterscheidet man, mit Zuhülfenahme der Versteinerungen, Süß- und Meereswasserformationen.

Die Gesteinsbildungen dauerten indessen nicht immer bis zur vollständigen Ausfüllung des Wasserbassins fort, oft wurden sie durch Hebungen unterbrochen, welche den See in einen Berg oder Hügel verwandelten. In den neu entstandenen Bassins fanden nun wieder neue Absätze von erdigen Substanzen statt, während die höher gelegenen Localitäten in ihrem frühern Bestand blieben. Durch abermals erneute Senkungen wurden nun wieder die letzten in Seen, durch Hebungen die erstern in Berge umgewandelt. Daher kommt es denn, daß nicht alle geognostischen Bildungen gleichmäßig über die Erde vertheilt sind, sondern nur hie und da auftreten.

Ursprünglich mußten alle abgesetzten Schichten eine horizontale Lage einnehmen; diese wurde aber vielfach gestört, theils durch die schon vorhin erwähnten, von Elie de Beaumont mit großer Bestimmtheit ausgesprochenen und nachgewiesenen Hebungen, theils aber auch durch die Ausbrüche plutonischer Gesteine.

Wir wollen nun die geognostischen Gruppen, die wir in Formationen und Glieder zerfällen, nach der Reihenfolge, in welcher sie entstanden sind, betrachten.

2. Grauwackengruppe.

Diese zerfällt in drei Formationen: die untere Grauwacke oder das Cambrische System, die mittlere Grauwacke oder das Silurische System, und die obere Grauwacke oder das Devonische System.

Die in der Grauwackengruppe vorkommenden Gesteine sind Schiefer und Sandsteine (von ähnlicher Zusammensetzung, wie der Thonschiefer), Kieselschiefer, Kalk, Anthracit, Dolomit u. s. w.

Die Bergformen der Grauwacke sind durch ihre Einförmigkeit ausgezeichnet. Flach abgerundete Berge mit terassenförmigen Absätzen, mitunter auch schroff eingerissene Thäler, sind das Wenige, was zur Characteristik der Oberflächengestaltung dieser Gesteinsgruppe dienen kann.

Glimmer durch Talk vertreten sei, bis List auf den geringen Bittererdegehalt aufmerksam machte. Nach List besteht das Taunusgestein aus Quarz und einem eigenthümlichen Mineral, von ihm **Sericit** genannt, welches sich durch Seidenglanz und grünlich weiße Farbe auszeichnet. Der Sericit kommt stellenweise auch in derben Massen vor.

6. Metamorphismus der krystallinischen Schiefergesteine.

Die auffallende Structur, sowie die Uebergänge, welche die krystallinischen Schiefergesteine in andere Felsarten, oft in ganz allmähligem Verlaufe zeigen, haben zu der Vermuthung Veranlassung gegeben, daß dieselben nicht mehr in der Zusammensetzung vor uns liegen, welche sie bei ihrer ursprünglichen Entstehung besaßen. Viele der ausgezeichnetsten Geologen nehmen daher an, daß zwar das ursprüngliche Material der fraglichen Gesteine in nichts anderem, als in der ersten Erstarrungskruste des heißflüssigen Erdkörpers bestanden habe, daß dagegen dasselbe im Verlauf der ungeheuren Zeiträume, welche von der ersten Consolidirung der Erdoberfläche bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt verflossen sind, mannigfachen Veränderungen und Einflüssen ausgesetzt gewesen sei. Als diejenigen Kräfte, welche diese Veränderungen bewirkten, werden bald die gewöhnlichen Agentien der Verwitterung, wie Kohlensäure, Wasser, Sauerstoff, bezeichnet, bald werden aber auch dafür außergewöhnliche Erscheinungen, wie das Aufsteigen von Gasen und Dämpfen aus dem Erdinnern, welche die ganze Masse des Gesteins durchdrungen haben sollen, zu Hülfe genommen. Jedenfalls läßt schon der Gehalt an Kohle, den die Thonschiefer oft ganz an ihrer Oberfläche zeigen, auf bedeutende Veränderungen, welche das ursprüngliche Bildungsmaterial erfahren haben muß, schließen. Man muß annehmen, daß die Kohle erst nach der Erkaltung des Gesteins in dasselbe hineingekommen ist, denn bei einem hohen Hitzgrad und bei Gegenwart von Metalloxyden wäre die Erhaltung der Kohle als solcher unmöglich gewesen. Welche von den oben angegebenen Hypothesen die richtigere sei, dies ist schwer zu entscheiden. Trotz der Unentschiedenheit der obschwebenden Frage hat man die Benennung: „krystallinische Schiefergesteine" sehr häufig mit: „Metamorphische Gesteine" vertauscht, so daß letztere Bezeichnung jetzt fast häufiger gebraucht wird, als erstere.

Dritter Abschnitt.

Die neptunischen oder sedimentären Gebilde bis zur Gruppe des Diluviums (einschl.).

1. Einleitung.

Wie früher bereits angegeben, scheinen die krystallinischen Schiefergesteine die ältesten geognostischen Bildungen der Erde zu sein. Nach ihrer Entstehung fanden nachweislich viele Hebungen und Senkungen des Landes statt die Vertiefungen füllten sich mit Wasser an uud bildeten Meere und Seen,

in welche, wie heutzutage, Flüsse und Bäche einmündeten. Durch Frost, Reibung des Wassers u. s. w. wurden die vorhandenen Gesteine zerkleinert, durch die Verwitterung aufgelöst; ihre Fragmente führten die atmosphärischen Wasser den Flüssen ꝛc. zu, letztere setzten sie nun wieder in den großen Wasserbassins ab. So entstanden auf deren Grunde Ablagerungen von Schlamm und größern oder kleineren Gesteinsbrocken, in Verbindung mit Resten von thierischen und pflanzlichen Organismen, welche entweder in diesen Meeren und Seen gelebt hatten, oder vom Lande her in sie hinein geschwemmt wurden. Die erdigen Ablagerungen erhärteten entweder durch ein in ihrer Masse befindliches Cäment (Kieselerde, Kalk, Eisenoxyd u. s. w.) oder blos in Folge des Drucks der über ihnen lastenden Wassersäule. Nach der Beschaffenheit des Wassers, welches in diesen Seen ꝛc. enthalten war, unterscheidet man, mit Zuhülfenahme der Versteinerungen, Süß- und Meereswasserformationen.

Die Gesteinsbildungen dauerten indessen nicht immer bis zur vollständigen Ausfüllung des Wasserbassins fort, oft wurden sie durch Hebungen unterbrochen, welche den See in einen Berg oder Hügel verwandelten. In den neu entstandenen Bassins fanden nun wieder neue Absätze von erdigen Substanzen statt, während die höher gelegenen Localitäten in ihrem frühern Bestand blieben. Durch abermals erneute Senkungen wurden nun wieder die letzten in Seen, durch Hebungen die erstern in Berge umgewandelt. Daher kommt es denn, daß nicht alle geognostischen Bildungen gleichmäßig über die Erde vertheilt sind, sondern nur hie und da auftreten.

Ursprünglich mußten alle abgesetzten Schichten eine horizontale Lage einnehmen; diese wurde aber vielfach gestört, theils durch die schon vorhin erwähnten, von Elie de Beaumont mit großer Bestimmtheit ausgesprochenen und nachgewiesenen Hebungen, theils aber auch durch die Ausbrüche plutonischer Gesteine.

Wir wollen nun die geognostischen Gruppen, die wir in Formationen und Glieder zerfällen, nach der Reihenfolge, in welcher sie entstanden sind, betrachten.

2. Grauwackengruppe.

Diese zerfällt in drei Formationen: die untere Grauwacke oder das Cambrische System, die mittlere Grauwacke oder das Silurische System, und die obere Grauwacke oder das Devonische System.

Die in der Grauwackengruppe vorkommenden Gesteine sind Schiefer und Sandsteine (von ähnlicher Zusammensetzung, wie der Thonschiefer), Kieselschiefer, Kalk, Anthracit, Dolomit u. s. w.

Die Bergformen der Grauwacke sind durch ihre Einförmigkeit ausgezeichnet. Flach abgerundete Berge mit terassenförmigen Absätzen, mitunter auch schroff eingerissene Thäler, sind das Wenige, was zur Characteristik der Oberflächengestaltung dieser Gesteinsgruppe dienen kann.

a. **Untere Grauwacke (Cambrisches System).**

Die ältesten neptunischen Gebilde, welche sich aus der Zerstörung der krystallinischen Schiefergesteine erzeugten, bestehen aus einer Reihe von Kalken und Schiefern, die Sedgwick unter der Benennung: „Cambrisches System" vereinigte. Diese Formation ist bis jetzt vorzüglich in England nachgewiesen worden, in Deutschland kommt sie gleichfalls vor, ist aber noch nicht streng von den übrigen Formationen der Grauwacke getrennt worden. Die Kalke des Cambrischen Systems besitzen in England keine bedeutende Mächtigkeit, eine desto größere die Schiefer, welche dem Thonschiefer der krystallinischen Schiefergesteine in ihrer Zusammensetzung sehr nahe kommen, sich aber von diesem durch weniger krystallinisches Gefüge unterscheiden. Sie gehen häufig im Glimmerschiefer und Gneiß über. Die Schichten des Cambrischen Systems befinden sich durchweg nicht mehr in ihrer ursprünglichen horizontalen Lage; sie fallen meist sehr steil, in England fast senkrecht ein. Petrefacten kommen in den Gesteinen dieser Formation nur sehr wenige vor.

Neuere Geologen vereinigen das Cambrische System wieder mit der folgenden Formation.

b. **Mittlere Grauwacke (Silurisches System).**

Die Formation der mittlern Grauwacke, von Murchison als Silurisches System bezeichnet, reiht sich unmittelbar an die vorhergehende an, unterscheidet sich aber von derselben vorzüglich durch andere Lagerung der Schichten, sowie durch einen verhältnißmäßig größern Reichthum von Petrefacten. Das Silurische System ist besonders in England ausgebildet, woselbst es eine beträchtliche Mächtigkeit besitzt. Aber auch in den Pyrenäen, in der Bretagne, im nördlichen Rußland, in Schweden und in Deutschland kommt es vor, obgleich es hier noch nicht gehörig von der folgenden Formation gesondert worden ist. Im Harz, an der Eifel und in Böhmen will man Gesteine aufgefunden haben, welche den Silurischen Schichten Englands entsprechen sollen.

Fig. 11.



Die Felsarten dieses Systems bestehen, wie die des vorhergehenden, aus Schiefern nnd Kalken.

Von Petrefacten führen wir an von Korallen: die Geschlechter: Limaria, Cyathophyllum (Fig. 11.) (caespitosum), von Brachiopoden Lingula, Terebratula (unguis, interplicata), Orthis (virgata, grandis) von Gasteropoden Litorina striatella, von Cephalopden: Orthoceras duplex.

c. **Obere Grauwacke (Devonisches System).**

Das Devonische System enthält die nämlichen Gesteine, wie die beiden vorhergehenden Formationen. Grauwackensandstein, Grauwackenschiefer, Kalke,

Kieselschiefer, Anthracit characterisiren es. Die krystallinischen Schiefer werden seltener, an ihre Stelle treten conglomeratartige Bildungen. Untergeordnet kommen auch Lager von Mergel und Dolomit vor.

Auch das Devonische System ist vorzugsweise in England (Devonshire, daher der Name) entwickelt und erreicht dort eine Mächtigkeit von über 10,000 Fußen. In Deutschland hat es eine kaum geringere Verbreitung, und höchst wahrscheinlich gehört ein Theil des Harzes und das sogenannte Rheinische Uebergangsgebirge vorzugsweise der obern Grauwacke an, wenn auch seine Schichten nicht ganz vollkommen den Englischen entsprechen.

In dem Rheinischen System, welches für uns von besonderer Wichtigkeit ist, hat man folgende Unterabtheilungen dieser Formation unterschieden.

α. **den Spiriferensandstein.**

Er ist besonders entwickelt am Rhein, im Lahnthale, im Dill- und Weilthale im Nassau'schen. Auch ein Theil der Vorberge des Taunus, zwischen Friedberg und Butzbach, führt Spiriferensandstein. In der Wetterau ist dieses Gestein gleichfalls verbreitet.

Die Glieder des Spiriferensandsteins bestehen hauptsächlich aus sehr grobkörnigen Grauwacken, in denen Quarz vorwaltet, sowie aus Thonschiefern von mehr oder minder krystallinischem Gefüge. Kalke kommen nur selten vor. Die Schichten der Grauwacke und des Thonschiefers wechseln gewöhnlich mit einander ab; sie befinden sich durchgängig in einer von der horizontalen abweichenden Lage, oft sind sie in Winkeln bis zu 90° geneigt. Quarz und Brauneisenstein sind häufig anzutreffen.

Fig. 12.



Die Petrefacten gehören größtentheils der Familie der Brachiopoden an. Als eine sehr characteristische Versteinerung mag hier Spirifer macropterus-Goldf. genannt werden.

Die Mächtigkeit dieser Formation beträgt in den Rheingegenden an 1000 Fuße. Der Spiriferensandstein bildet flachhügelige Gebirge; indessen entstehen in ihm durch Einwirkung des Wassers sehr steile Schluchten, wie z. B. das Wisperthal, das Lahnthal von Balduinstein an bis nach Ehrenbreitstein hin, das Rheinthal von St. Goar bis Bonn.

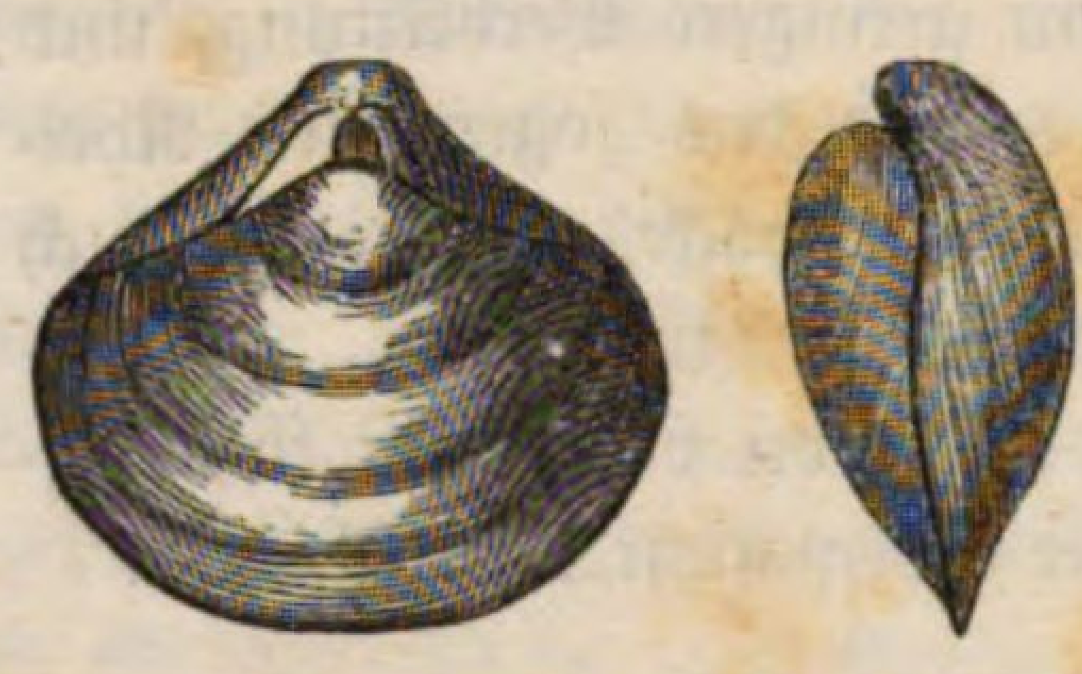
β. **Stringocephalenkalk.**

Diese Formation ist ausgezeichnet durch das Vorherrschen von dichten, im Bruch splittrigen Kalken, welche durch Eisen- und Manganoxyd oft marmorartig gestreift sind. Der Kalk ist sehr rein, er hat nur wenig Bittererde und Spuren von Kieselerde, Thonerde und Alkalien. Sein Vorkommen beschränkt sich auf kleinere Becken. Häufig ist der Stringocephalenkalk in Schalstein eingelagert, wie z. B. bei Wetzlar. Kalkspathadern durchziehen vielfach

das Gestein; auch auf den Kluftflächen findet sich Kalkspath, wahrscheinlich erst im Laufe der Verwitterung entstanden.

Der Stringocephalenkalk kommt besonders entwickelt in Nassau, Hessen und der Eifel vor; er findet sich auch im Harze.

Fig. 13.



Die characteristische Versteinerung für diese Formation ist **Stringocephalus Burtini** Defr. (Fig. 13). Einzelne Kalkfelsen bestehen nur aus Polypen, z. B. Calamopora polymorpha.

Ein weiteres Glied dieser Formation ist der **Dolomit**, eine Verbindung von kohlensaurer Kalkerde mit kohlensaurer Talkerde. Er erscheint hier mit krystallinischem Gefüge. Die Gebirgsformen des Dolomits sind sehr malerisch; der Stringocephalenkalk zeichnet sich durch Höhlen aus.

Die Kalke der eben betrachteten Formation sind von Schiefern begleitet, die man nach der in ihnen vorkommenden Cypridina serratostriata **Cypridinenschiefer** genannt hat. Die Schichten sind meist sehr geneigt und bestehen sowohl aus Thonschiefern, als auch aus Kieselschiefern. Letztere sind ganz besonders reichlich von Kalk- und Quarzadern durchzogen. Die Cypridinenschiefer kommen in den Ardennen, der Eifel, dem Hundsrück und dem Nassau'schen, sowie auch im Großherzogthum Hessen vor.

δ. Posidonomyenschiefer.

Die Gesteine dieser Formation sind wieder Kalk, Grauwacken-Sandstein, Schiefer und Schieferthon. Letzterer besteht aus einer mehr erdigen, als steinartigen Masse von gelber oder bläulicher Farbe; oft ist er durch Kohle schwarz gefärbt. Der Schieferthon kommt gewöhnlich in ganz dünnen Lagen zwischen dem Grauwackensandstein und dem Schiefer vor und vermittelt so den Uebergang dieser beiden Gesteinsarten.

Auch der Posidonomyenschiefer besitzt nur noch an den wenigsten Orten seine ursprüngliche horizontale Lage. Sehr häufig trifft man Windungen, oft sind die Schichten ganz umgestürzt und neigen sich in verschiedenen Winkeln gegen die Horizontale.

Fig. 14.



Der Posidonomyenschiefer ist verhältnißmäßig reich an organischen Resten. Von den Pflanzen hat sich übrigens fast nur der Kohlenstoff erhalten, der den in mitunter nicht unbedeutenden Lagern vorkommenden Anthracit bildet.

Fig. 15.



Von Petrefacten nennen wir diejenige Art, welche der Formation die Benennung verliehen hat, nämlich Posidonomya Becheri. Die Pflanzenreste im Posidonomyenschiefer rühren von Acotyledonen her, unter denen Calamites Suckowii hervorzuheben ist.

Die Formation des Posidonomyenschiefers kommt vorzüglich in England, Rußland, Westphalen, im Harz, am Rhein, in Nassau und Hessen-Darmstadt vor.

Das Cambrische, Silurische und Devonische System umfassen diejenigen Gebilde, welche Werner unter dem Namen „Uebergangsgebirge" vereinigt hat.

In England tritt als ein sehr bemerkenswerthes Glied des Devonischen Systems der alte rothe Sandstein auf, von welchem Parallelbildungen in Sachsen und Westphalen bekannt sind. Wahrscheinlich ist aber auch die Rheinische Grauwacke von ihm nicht viel unterschieden. In England erreicht der alte rothe Sandstein (Old red sandstone) die Mächtigkeit von 10000 Fußen. Das Gestein besteht vorzugsweise aus einem Conglomerat, welches die nämlichen Fragmente, wie die Grauwacke enthält. Mit demselben wechseln Lagen von Mergeln und Kalken.

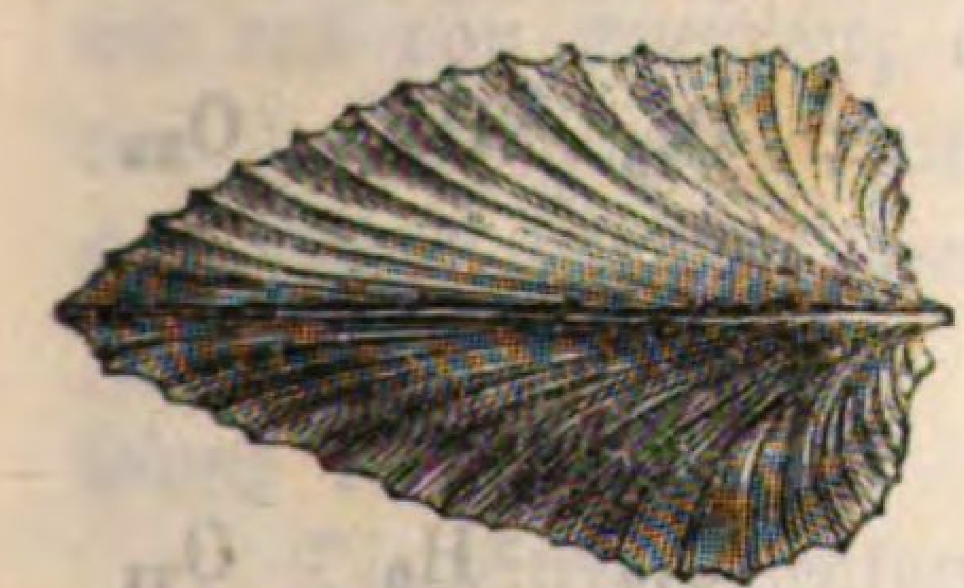
3. Steinkohlengruppe.

Die Steinkohlengruppe umfaßt zwei Formationen:

a. Den Bergkalk oder Kohlenkalk, auch Encrinitenkalk,

wegen der darin vorkommenden Petrefacten genannt. Er besteht hauptsächlich aus einem sehr festen, durch Kohle schwarz oder mindestens dunkel gefärbten Kalkstein, der oft Bitumen enthält und dann beim Zerschlagen einen üblen Geruch entwickelt. Mit dem Kalk wechseln Lager von Mergeln und Sandsteinen. In dem Kalkstein kommen nicht selten feuersteinartige Brocken, ähnlich wie in der Kreide (s. u.), vor. Die Formation des Kohlenkalks ist besonders in England entwickelt, wo sie bis zu 2000 Fußen über das Meer ansteigt. Auch in Rußland, Belgien, an der Maas, in Westphalen, an der Eifel, bei Aachen, an der Ruhr tritt dieselbe auf.

Fig. 16.



Von Versteinerungen nennen wir die Geschlechter Pentatrematites, Poteriocrinus, Actinicrinus, Productus, Spirifer (glaber Fig. 16).

Einige Geognosten erkennen den Kohlenkalk nicht als eine selbstständige Formation an, sondern betrachten ihn als ein Glied der folgenden Formation.

b. Die Steinkohlenformation.

Diese ist ausgezeichnet durch den großen Reichthum an fossilen Pflanzenüberresten, welche durch den Vermoderungsprozeß in die sogenannte Steinkohle

umgewandelt worden sind, die gegenwärtig aus dem Innern der Erde gewonnen und als Brennmaterial benutzt wird. Die Pflanzen, welche die Steinkohlen bildeten, sind lauter untergegangene Arten, der Mehrzahl nach Acotyledonen oder Monocotyledonen, Dicotyledonen fehlen, mit Ausnahme der Nadelhölzer, von welchen einige Arten vorkommen. Baumartige Equisetaceen, Farnkräuter und Lycopodien machen vorzugsweise die Flora der Steinkohlenformation aus. Von Equiseten ist zu nennen das Geschlecht Calamites mit cylindrischem, hohlem, bis 1 Fuß dickem Stamm ohne Aeste, von Farnkräutern die Genera Sphenopteris, Odontopteris. Neuropteris, Pecopteris (aquilina Fig. 17.) und Cyclopteris. Das Geschlecht Sigillaria (hexagona Fig. 18.) scheint auch zu diesen zu gehören Die innen hohlen Sigillarienstämme haben oft eine Länge von 50 Fußen und mehr als 1 Fuß Dicke. Von Lycopodien ist das Geschlecht Lepidodendron mit spiralförmig gestellten Blattstielnarben ausgezeichnet. Auch Palmen hat man in den Steinkohlen entdeckt. Von Nadelhölzern nennen wird ie mit den Araucarien verwandten Geschlechter Voltzia und Albertia.

Fig. 17.



Fig. 18



Daß die Steinkohlen aus Pflanzen entstanden seien, darüber kann nicht der geringste Zweifel bestehen. Eine andere Frage aber ist die, auf welche Weise die Umwandlung der Pflanzenfaser in die feste schwarze und dichte Masse (die Steinkohle hat ein specifisches Gewicht von 1,3) erfolgt sei. Gewiß ist der Prozeß der Steinkohlenbildung von dem der gewöhnlichen Verwesung unterschieden. Keinenfalls hatte die Luft vollständigen Zutritt, sonst würde der Wasserstoff in den Steinkohlen vollständig verschwunden sein. Wir müssen annehmen, daß die Steinkohlenbildung unter Wasser oder unter einer dicken Lage von Erde vor sich gegangen sei.

Liebig stellt auf die Erfahrung hin, daß in Steinkohlenwerken sowohl Sumpfgas, als auch Kohlensäure anzutreffen sind, die Theorie auf, die Steinkohle habe sich aus der Holzfaser erzeugt, indem sich Sumpfgas, Kohlensäure und Wasser von derselben getrennt hätten.

Nach Gay Lussac ist die Formel des Holzes = $C_{36}\ H_{22}\ O_{22}$

hiervon ab 3 Sumpfgas = $C_3\ H_6$

„ „ 3 Wasser = $H_3\ O_3$

„ „ 9 Kohlensäure = $C_9\ O_{18}$

in Summe $C_{12}\ H_9\ O_{21}$ — $C_{12}\ H_9\ O_{21}$

bleibt als Rückstand die Steinkohle, deren Zusammensetzung sich durch die Formel: $C_{24}\ H_{13}\ O$ ausdrückt.

Eine nicht minder interessante Frage ist die, ob die Pflanzen, aus denen die Steinkohlen entstanden sind, an der gegenwärtigen Lagerstätte der letzteren sich erzeugt haben. Die bedeutenden Massen von Steinkohlen, welche an manchen Orten zusammengehäuft sind, scheinen nicht für diese Annahme zu sprechen; es gibt Kohlenlager von 500 Fußen Mächtigkeit. Welche ungeheuren Zeiträume müßten dazu gehört haben, bis blos aus abgestorbenen Vegetabilien, deren Volum außerdem noch durch den Vermoderungsprozeß und den Druck der obern Schichten vermindert wurde, so hohe Lagen sich bilden konnten. Bischof berechnet, daß für das Steinkohlenlager von Saarbrück dazu ein Zeitraum von über 10 Millionen Jahren erforderlich gewesen sein würde. Es hätten förmliche Berge allein aus Pflanzenüberresten über die Oberfläche des Bodens sich erheben müssen. Außerdem wechseln aber die Steinkohlenflötze stets mit Lagen von Erde (Thon, Lehm, Sand), deren Bildung unerklärlich ist, wenn man die Steinkohlen nur für den Humus eines Urwaldes ansieht. Viel wahrscheinlicher ist es, daß die Pflanzen, aus welchen die Steinkohlen entstanden sind, in Becken, Seen u. s. w. zusammengeschwemmt wurden, daß sie also von sogenanntem Treibholz herrühren, wie es noch heut zu Tage viele große Flüsse (z. B. der Amazonenstrom) mit sich führen. Dieses Treibholz konnte sich so lange am Spiegel des Wassers schwimmend erhalten, bis es durch den Verwesungsprozeß mürbe geworden war. Dann beluden sich alle seine Poren mit Wasser, es wurde specifisch schwerer, als das Wasser, sank unter und wurde in dem Seegrund begraben. Man darf übrigens nicht annehmen, ein Steinkohlenlager sei aus einem einzigen schwimmenden Floß entstanden. Ein solches Floß hätte bei manchen Lagen die Höhe von 3000—4000 Fußen erreichen müssen. Mitunter findet man die Stämme noch aufrechtstehend; hier muß man annehmen, daß plötzlich eine Versenkung des Bodens stattfand, wie sie die Geschichte der Geognosie häufig nachgewiesen hat. Viele Steinkohlenlager mögen auch wohl aus Torf entstanden sein. Für diese kann man daher eine Erzeugung auf ihrer gegenwärtigen Lagerstätte annehmen.

Wie schon angegeben, befinden sich in den Steinkohlenlagern erdige Zwischenglieder. Hierzu gehören Thonschiefer, Sandstein, Kalk, Schieferthon, plastischer Thon, Lehm und Sand. Die einzelnen Steinkohlenflötze erreichen, wie das von Aveyron, oft die Mächtigkeit von 100 und mehr Fußen. Mit den Zwischengliedern hat das Steinkohlengebirge von Newcastle in England eine Mächtigkeit von über 4000 Fußen, das von Wales aber doppelt so viel. Zu Newcastle wechseln 40 Flötze mit Thonschiefern und Sandsteinen, zu Mons 115 Flötze.

Die Steinkohlenformation ist über alle Theile der Erde, selbst über die kältesten Erdstriche (z. B. Spitzbergen), verbreitet, was eine große Gleichmäßigkeit des Klima's in den verschiedenen Zonen zur Zeit der Steinkohlenentstehung voraussetzt. Man will jene durch die innere Wärme der damals noch

nicht so weit abgekühlten Erdkugel erklären. — Besonders entwickelt und mächtig kommt die Steinkohlenformation in England vor. In Deutschland findet sie sich bei Aachen, an der Ruhr, bei Kreuznach, Saarbrück und in Schlesien. In den Cordilleren reichen die Steinkohlenlager an die Schneegrenze (bis zu 13000 Fuß Meereshöhe); ein Beweis, daß hier eine Hebung stattgefunden hat.

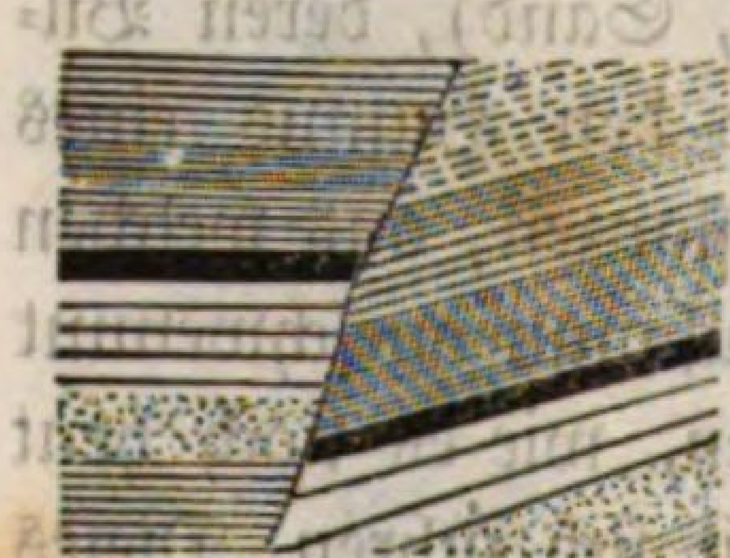
Fig. 19.



Die Ablagerungen der Steinkohlenformation sind gewöhnlich horizontal; doch trifft man auch Mulden und Sättel.

Die einzelnen Schichten eines Steinkohlenlagers verlaufen nicht immer parallel; sehr häufig kommen Zickzackbildungen und Verwerfungen der Schichten vor.

Fig. 20.



4. Permische Gruppe.

Diese Gruppe führt ihre Benennung vom Gouvernement Perm im nördlichen Rußland, woselbst sie besonders ausgebildet ist. Sie umfaßt folgende Formationen:

a. Das Rothe Todtliegende.

Es besteht hauptsächlich aus einem fast immer sehr grobkörnigen, conglomeratartigen Sandstein. Brocken von Thonschiefer, Glimmerschiefer, Gneiß, Kieselschiefer, Granit, Syenit, Grünstein, Porphyr, Grauwacke, Quarz, Kalk sind durch ein eisenhaltiges oder kalkiges Cement oder auch durch Fragmente der eben genannten Gesteine verkittet. Die vorherrschende Farbe dieses Conglomerats ist die blutrothe bis rothbraune, seltener die grünliche oder graue. Die Schichten des Sandsteins sind oft durch Bänke von rothem Schieferthon getrennt. Dieser erreicht manchmal eine bedeutende Mächtigkeit und setzt sich bis in den Sandstein fort. Letzterer geht bisweilen in förmlichen Schiefer über. Die Benennung: Roth-Todtliegendes rührt von den Thüringer Bergleuten her. Nachdem sie den erzführenden Kupferschiefer und das Weißliegende (s. u.) durchsunken hatten, kamen sie auf eine durch ihre rothe Färbung ausgezeichnete Schichte erzfreien (todten) Gesteins, welche das Liegende des Kupferschiefers und des Weißliegenden bildete. — Versteinerungen kommen im Rothliegenden nur wenige vor. Stämme von ähnlichen Bäumen, wie die der Steinkohlenformation, finden sich in verkieseltem Zustand.

An der Bildung des Rothliegenden scheinen die Porphyre großen Antheil gehabt zu haben.

Ueber dem Rothliegenden befindet sich an manchen Orten ein Sandstein von der nämlichen Beschaffenheit, aber von hellerer Farbe, das sogenannte Weißliegende. Es ist reich an Kobalt- und Nickelerzen Seine Mächtigkeit geht selten über 100 Fuße.

Als ein dem Rothliegenden untergeordnetes Glied erscheint an vielen Orten Dolomit und ein blaugrauer Kalk von unbedeutender Mächtigkeit.

Die Formation des Roth-Todtliegenden kommt in Thüringen (z. B. bei Eisenach, am Kiffhäuser), bei Magdeburg, Dresden, in Böhmen, am Harz, im Großherzogthum Hessen (Vilbel, Niddathal, Langen) vor und erreicht im Ganzen die Mächtigkeit von 3000 Fußen.

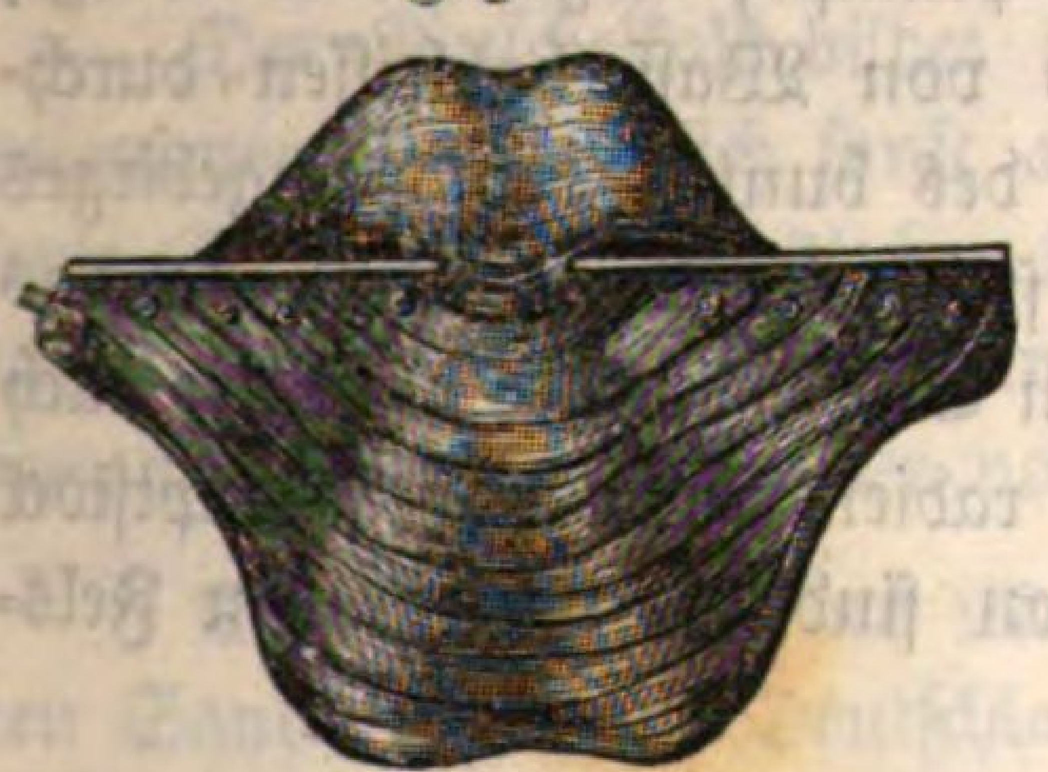
b. **Der Kupferschiefer**

besteht aus schiefrigem Mergel, in welchem häufig Kupfererze (Kupferglanz, Kupferkies) zerstreut sind. Das Gestein ist gewöhnlich sehr bituminös und enthält Abdrücke von Fischen. Die Formation des Kupferschiefers besitzt sehr geringe Mächtigkeit von 1—2, höchstens 3 Fußen, in welcher sie über nicht unbedeutende Strecken fortzieht, was auf große Ruhe in der Natur während ihrer Bildung schließen läßt. Sie kommt unter andern im Großherzogthum Hessen (Herrschaft Itter), in Kurhessen (Richelsdorfer Gebirge), im Mansfeldischen u. s. w. vor.

c. **Der Zechstein.**

Ein dichter grauer, blaulicher oder brauner, stark von Bitumen durchdrungener Kalk von 20—40 Fuß Mächtigkeit, in dem oft Lager von Eisensteinen, auch Gyps, Steinsalz und Dolomit anzutreffen sind. Im Großherzogthum Hessen bei Bleichenbach in der Wetterau und bei Itter, ferner im Mansfeldischen, bei Bieber u. s. w. In der Wetterau hat man nachstehende Glieder unterschieden, die von unten nach oben folgende Ordnung einhalten: Eigentlicher Zechstein, Mergelerde, Zechsteindolomit, bituminöser Kalk. Die beiden letztgenannten Glieder sind reich an Bittererde, während diese dem eigentlichen Zechstein fast gänzlich fehlt.

Fig. 21.



Von Petrefacten ist besonders bemerkenswerth und characteristisch: Productus aculeatus. (Fig. 21.)

d. **der Vogesensandstein.**

Er wurde früher von dem bunten Sandstein nicht unterschieden. Kommt in den Vogesen und im Schwarzwald vor.

5 Triasgruppe

Diese enthält drei wohlunterschiedene Formationen, die zum Theil sehr große Länderstrecken überdecken.

a. **Bunter Sandstein.**

Die unterste Formation dieser Gruppe. Er besteht aus Quarzkörnchen, die durch einen Kitt von Eisenoxydhydrat, Kalk, Thon oder Kieselsäure zusam-

mengehalten werden. Nach dem Kitt richtet sich auch zumeist die Farbe des Gesteins, welche die rothe, seltener die weiße, grünliche, bläuliche oder graue ist. Die Farbe ist nicht immer einförmig, oft wechseln hellere und dunklere Parthien mit einander, so daß das Gestein ein gebändertes Ansehen erhält. Doch findet die Streifung nicht immer in einerlei Sinne mit der Schichtung statt. Der bunte Sandstein ist feinkörniger, als der Vogesensandstein, doch hat man von ersterem auch grobkörnige Varietäten; zuweilen sind selbst dicke Quarzbrocken oder Thonklumpen in ihm enthalten; wenn diese ausgewaschen werden, entstehen Höhlungen in dem Gestein. Der bunte Sandstein kommt in dickern und dünnern Schichten vor, die mit einander abwechseln und häufig durch Lagen Glimmers getrennt sind. Die Festigkeit des Gesteins ist eine sehr verschiedene; einige Sorten erhärten erst an der Luft, andere bestehen blos aus einem Haufwerk von Quarzbröckchen, welche nur so neben einander gelagert sind.

Ein sehr characteristisches Glied der Formation des bunten Sandsteins sind Lagen von rothem Thon, welche gewöhnlich bald über oder unter einer Reihe von Gesteinsschichten befindlich sind, bald aber auch mit letztern abwechseln. Dieser Thon fühlt sich zart an; er ist stark von Eisenoxyd durchdrungen. Weitere Glieder sind Anhydrit (wasserfreier Gyps), Gyps, Steinsalz, Mergel.

Wo der bunte Sandstein mit Basalt in Berührung gekommen ist, da hat er (wie am Wildenstein bei Büdingen in Oberhessen) mitunter die säulenartige Absonderung mit dem Basalt gemein.

Der bunte Sandstein bildet gewöhnlich, wo er in geringen Massen auftritt, kegelförmige Berge mit steilen Abhängen und ist dann oft mit losem, durch die Verwitterung des Bindemittels getrennten, Sande überschüttet. In größern Massen bildet er weite Plateau's und plumpe, abgerundete Berge, die nur nach der Ebene hin steiler abfallen und von Wasserhohlrissen durchzogen sind. Im Odenwald ist der östliche Theil des bunten Sandsteingebirges eben und sanft abgeflacht, der westliche dagegen steil. An der Hardt findet das umgekehrte Verhältniß statt. Die Thäler im bunten Sandstein sind mitunter auch schroff und stark gekrümmt und verlaufen meist radienförmig vom Hauptstock des Gebirges aus. Die Berge dieser Formation sind oft mit großen Felsblöcken überdeckt.

Die Mächtigkeit des bunten Sandsteins beträgt über tausend Fuße. Er steigt im Schwarzwald bis zu 3600, im Spessart bis zu 1400, an der Werra über 800, zwischen dem Harz und dem Thüringer Wald über 1000, im Odenwald bis zu 1500 Fußen Meereshöhe an. Er überdeckt in Deutschland an 500 Quadratmeilen. Der bunte Sandstein nimmt das Gebiet zwischen dem Rheinischen Schiefergebirge, dem Harz und Thüringer Wald ein. Der größere Theil von Kurhessen gehört dieser Formation an, die sich außerdem

noch an der Hardt, im Spessart, Odenwald, Schwarzwald, dem südwestlichen Theil des Fichtelgebirges u. s. w. findet.

Fig. 22.



Organische Reste sind im Ganzen selten in dieser Formatien, als einige der bezeichnendsten Petrefacten mögen Voltzia heterophylla (Fig. 22.) Calamites arenaceus, Aethophyllum speciosum genannt werden. Thierfährten haben sich im bunten Sandstein wohl erhalten.

b. Der Muschelkalk.

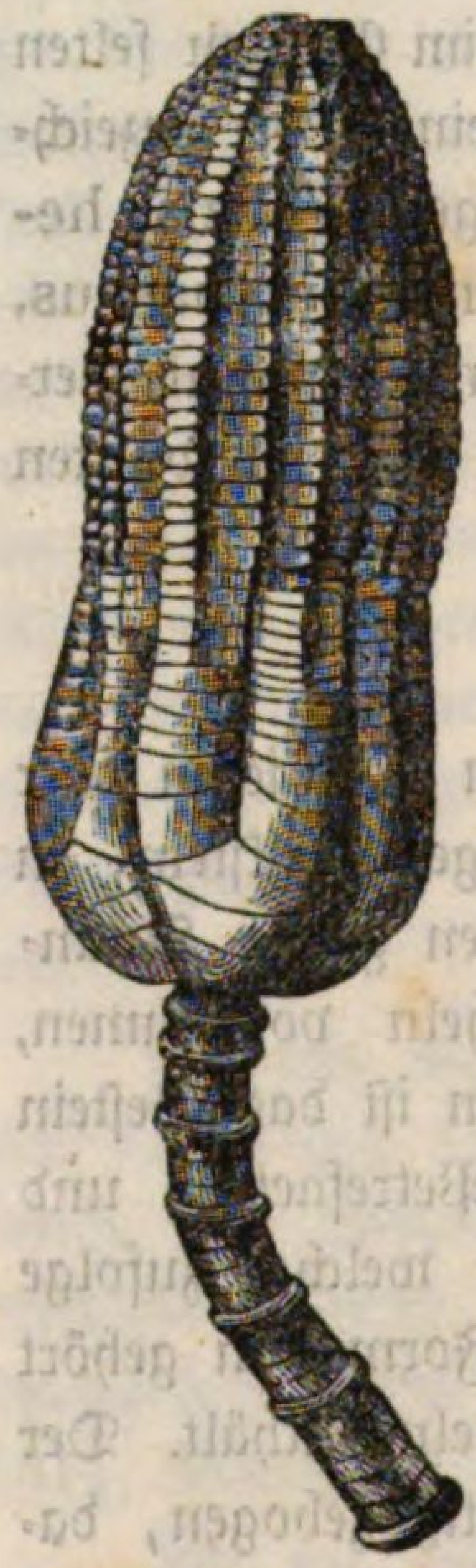
Er besteht aus einem bläulichen oder grauen, meist dünnschiefrigen Kalkstein, in welchem an manchen Orten große Quantitäten versteinerter Muscheln vorkommen, daher der Name. Indessen ist das Gestein nicht überall so reich an Petrefacten, und es gibt sehr vielen Kalk, welcher zufolge seiner Lagerung in diese Formation gehört und doch gar keine Muscheln enthält. Der Kalk ist mitunter wellenartig gebogen, daher der Name Wellenkalk.

Der Muschelkalk führt als untergeordnete Glieder Dolomit, Anhydrit, Gyps und Steinsalz. So befinden sich z. B. die bedeutenden Steinsalzlager von Wimpfen in dieser Formation.

Der Muschelkalk bildet im südwestlichen Deutschland und den Vogesen zusammenhängende sich sanft abflachende, mit wellenförmigen Erhebungen besetzte Ebenen. Im nördlichen Deutschland kommt er in mehr isolirten Gebirgszügen vor, die nicht selten ziemlich steil abfallen. Die Thäler dieser Gebirgsformation sind, wie die der vorhergehenden, meist eng und steil.

Die Verbreitung des Muschelkalks geht nicht so weit, als die des bunten Sandsteins. In Deutschland nimmt der Muschelkalk etwa 360 Quadratmeilen ein. Er findet sich im südlichen und östlichen Schwarzwald über dem bunten Sandstein bis zu einer Höhe von 2300 Fußen, im Odenwald bis über 1000 Fuße, zwischen letzterem bis in die Gegend von Schweinfurt hin, am östlichen Abhange der Rhön, am westlichen Abhang des Thüringer Waldes und des Fichtelgebirges, am Leinethal in der Gegend von Göttingen, im nordwestlichen und nördlichen Theil des Harzes, in den Vogesen und im Hardtgebirge.

Fig. 23.



Von Petrefacten, an denen diese Formation viel reicher ist, als die des bunten Sandsteins, nennen wir folgende: Encrinites liliiformis (Fig. 23.), Ceratites nodosus, Delthyris flabelliformis, Pecten laevigatus.

c. Keuper.

Der Keuper ist ein in den untern Lagen feinkörniger, in den obern dagegen mehr grobkörniger, gewöhnlich gelblich gefärbter Sandstein. Er macht das hauptsächlichste Glied der nach ihm benannten Formation aus. Mit diesem Sandstein kommen Lagen von Mergeln, die meist eine grüne oder röthliche Farbe besitzen und schiefrige Absonderung zeigen, vor. Gyps, Steinsalz, Dolomit, Anhydrit finden sich ebenso in dieser, wie in den beiden vorhergehenden Formationen. Der Keuper ist vorzüglich characterisirt durch die sogenannte Lettenkohle. Sie besteht zu unterst aus geschiefertem, bituminösen Thon, der nach und nach in eine schwarze erdige Kohle mit mattem Bruch übergeht. Die Lettenkohle hat zu geringe Mächtigkeit, als daß sie zu Brennmaterial abgebaut werden könnte. Ihrer chemischen Zusammensetzung nach steht die Lettenkohle zwischen der Steinkohle und der Braunkohle. Mit der Lettenkohle wechseln Lager von Mergelschiefer. Der Keupersandstein liegt stets über der Lettenkohle.

In Deutschland überdeckt die Keuperformation etwa 350 Quadratmeilen; sie nimmt also nicht so bedeutende Gebiete ein, als der bunte Sandstein und der Muschelkalk. Der Keuper steigt in Thüringen bis 1000 Fuß, im Schwarzwald bis zu 2400 Fußen an.

Der Keuper bildet flachhügelige Gegenden, doch sind die Abhänge der Berge meist steil, weniger da, wo der Mergelschiefer vorherrscht. Die Keuperformation findet sich in Schwaben und Franken, im nordwestlichen Deutschland in Begleitung des Muschelkalkes, in Thüringen, bei Paderborn u. s. w., ferner nordwestlich vom Harz bis in die Umgebung von Osnabrück, am westlichen Abhang der Vogesen.

Fig. 24.



An Petrefacten ist der Keuper nicht reicher, als der Muschelkalk. Folgende nennen wir als bezeichnende: Gervillia socialis (Fig. 24), Equisetum arenaceum, Mya matroides, Pterophyllum Jaegeri.

6. Juragruppe.

Diese, welche eine etwas geringere Verbreitung, als die Triasgruppe besitzt, theilt sich in folgende Formationen:

a. Lias.

Die Liasformation besteht aus Kalken, Schiefern und Sandsteinen. Von diesen liegt der Liaskalk zu unterst. Er erreicht eine Mächtigkeit von 100 Fußen. In ihm finden sich Reste von Sauriern (krokodilartigen Geschöpfen). Der Liaskalk ist sehr reich an Bitumen. Besonders bezeichnend für ihn ist das Vorkommen von Gryphaea arcuata (Fig. 25.) in unzähligen Exemplaren. Der Liaskalk findet sich, außer in England und Frankreich, am Fuße der Würtembergischen Alp, bei Basel u. s. w.

Fig. 25.



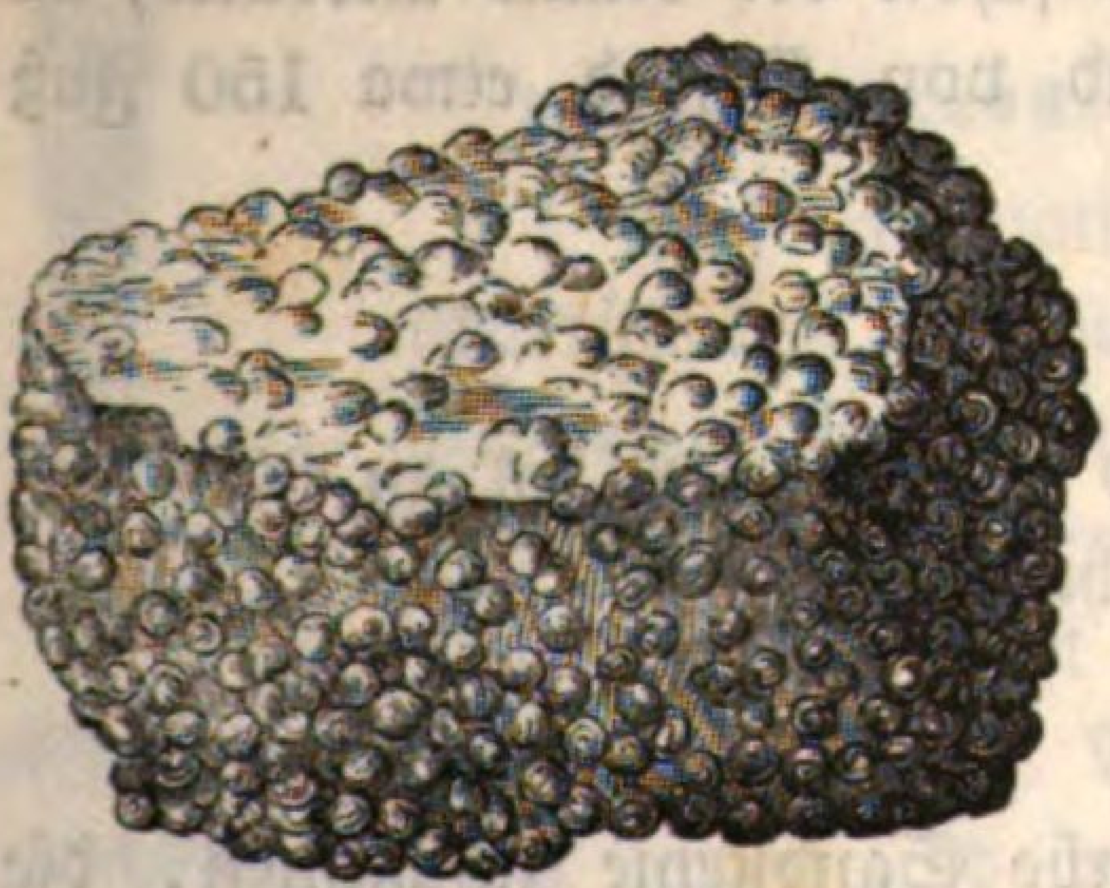
Der Liasschiefer hat eine bedeutendere Mächtigkeit, als der Liaskalk. Er bildet Schichten von 500 Fuß Dicke, so z. B. in Würtemberg. Dort kommen sehr viele Muscheln aus der Gattung Posidonia in ihm vor, weßhalb dieser Schiefer auch die Benennung Posidonienschiefer führt. Mit dem Schiefer wechseln Lager von Mergeln. Auch zwischen Karlsruhe und Heidelberg findet sich der Liasschiefer.

Der Liassandstein ist das oberste Glied der Liasformation. Er kommt in der Schwäbischen Alp, in Baiern u. s. w. (aber nicht in England) vor. Seine Mächtigkeit geht bis zu 200 Fußen. Pflanzenüberreste in einem steinkohlenähnlichen Zustande sind dem Liassandstein eigen. Die Hauptmasse dieses Gesteins bilden compacte Mergel.

Der Lias formirt flachhügelige Gegenden.

b. Jura.

Fig. 26.



Das characteristische Gestein dieser Formation ist der sogenannte Jurakalk, ein erbsengelber oder bläulicher Kalkstein von sehr feinem Korn, aus dessen reineren Varietäten die lithographischen Steine gefertigt werden. Eine Abart des Jurakalkes ist der Oolithenkalk. Dieser besteht aus Körnern von der Größe einer Erbse, die durch ein kalkiges Cement verkittet sind. Daher die Benennung Erbsenstein). Man hielt sie früher für versteinerten Fischrogen und nannte deß-

halb das Gestein Rogenstein. Neuerdings hat sich die Bildung dieser Körner erklärt; dieselben erzeugen sich nämlich noch gegenwärtig an manchen Orten. Wenn ein Sandkörnchen in den Strudel eines kalkhaltigen Wassers geräth, so erhält es sich in diesem einige Zeit schwebend, wobei sich so lange Kalk um dasselbe herum ansetzt, bis seine Schwere so bedeutend geworden ist, daß der Strudel es nicht mehr zu tragen vermag und es zu Boden sinkt. Hier nun werden die Körner verkittet.

Die Mächtigkeit des Jurakalkes beträgt an 4000 Fuße. Die Formation der Juragebirge ist sehr auffallend. „Schon in der Ferne," sagt v. Leonhard, „verkünden, namentlich beim schweizerischen Jura, Höhen und Gestaltverhältnisse eine, von nachbarlichen Bergreihen wesentlich verschiedene, Zusammensetzung des Innern. Einem gewaltigen Damme gleich, steigt der erhabene Rücken der ausgedehnten Masse mit fast ununterbrochener Einförmigkeit von dem Ufer der Seen oder aus Ebenen bis zu 4000 Fuß über den Meeresspiegel empor. Abgeplattete Gipfel, oft zu Plateau's sich ausdehnend, begrenzt durch senkrechte Abfälle, thurmähnliche eingekerbte Bergkämme, seltsame Schichtenstellungen und das wild Aufgethürmte der Felslagen vermehren das Malerische des Anblicks." In England herrschen die oolithischen Kalke vor, die Dicke der Schichten steigt daselbst bis zu 1300 Fußen an. Man hat daselbst folgende Glieder dieser Formation unterschieden, die wir, von unten nach oben gerechnet, anführen.

α. Unterer Oolith.

Besteht aus mergeligen, oft glimmerhaltigen Sandsteinen oder auch losen Sandlagen, in welche nach oben hin Kalke sich eindrängen, bis das ganze Gestein in einen derben Kalkstein übergeht. Häufig sind die Oolithe dieser Schichten eisenschüssig.

β. Oxfordthon.

Zu unterst in diesem Glied liegen mergelige, eisenhaltige Kalke, dann folgen bis 500 Fuß mächtige Lager eines blauen Thons (der eigentliche Oxfordthon), hierauf Sand und Sandsteine mit kalkigem Bindemittel und endlich der Corallenkalk (Coral-rag), ein, wie schon der Name andeutet, an Corallen reicher Kalkstein, der in der Gegend von Oxford etwa 150 Fuß Mächtigkeit erlangt.

γ. Kimmeridger Thon.

Er besteht aus bituminösen Mergeln und Thonen, die bis an 600 Fuß mächtig sind und hie und da Braunkohlen enthalten.

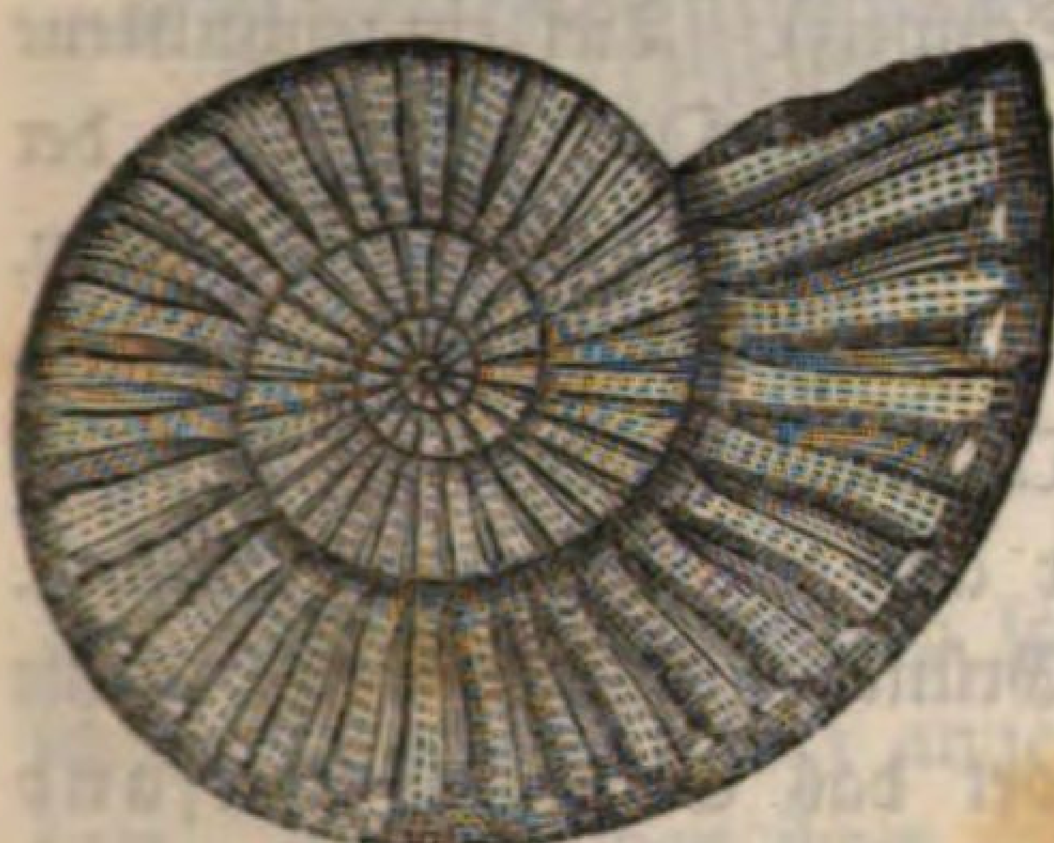
δ. Portlandkalk.

Ihn setzen vorzugsweise hellgefärbte derbe Sandsteine zusammen, die mitunter oolithisch, zuweilen erdig und zerreiblich sind und nicht selten kieselige

Concretionen enthalten. Baumstämme kommen in Dorsetshire, manchmal noch in aufrechter Stellung, im Portlandkalk vor.

In Deutschland sind nicht alle Glieder so ausgebildet wie in England. Im Fränkischen Jura unterscheidet man zuerst Lagen von Sandsteinen, die dem untern Oolith entsprechen, hierauf Thon, äquivalent dem Oxfordthon, und endlich bedeutende Lagen eines vielfach von Corallen durchzogenen Kalksteins. Die Dolomitbildung tritt im deutschen Jura häufig auf. Im Dolomit finden sich Höhlen, wie diejenigen von Muggendorf, Gailenreuth und Streitberg. Steinsalz und Gyps sind stets Begleiter der Jurassischen Gebilde.

Fig. 27.



Von Petrefacten führen wir an: Pecten disciformis, das Geschlecht Ammonites (A. Bucklandi, Fig. 27), das Geschlecht Belemnites (B. giganteus, Fig. 28.).

Fig. 28.



7. Kreidegruppe.

Diese Gruppe führt ihren Namen von dem bekannten Mineral Kreide, welches in der obersten Formation vorkommt. Die Kreidegruppe ist über große Länderstrecken hin verbreitet. In Europa kennt man sie in England, Frankreich, Spanien, Italien und in Deutschland. Man theilt sie in drei Formationen.

a. Der Wälderthon

ist die unterste von diesen. Besondere Ausbildung hat er in England erlangt, doch finden sich Parallelgebilde in Westphalen und in Sachsen. Die Formation des Wälderthons besteht aus Kalksteinen, ausgezeichnet durch ihren Reichthum an Petrefacten, Schieferthonen, losen eisenschüssigen Sandlagen, Sandsteinen und Thonen, von denen letztere in sehr bedeutender Mächtigkeit auftreten.

b. Quadersandstein.

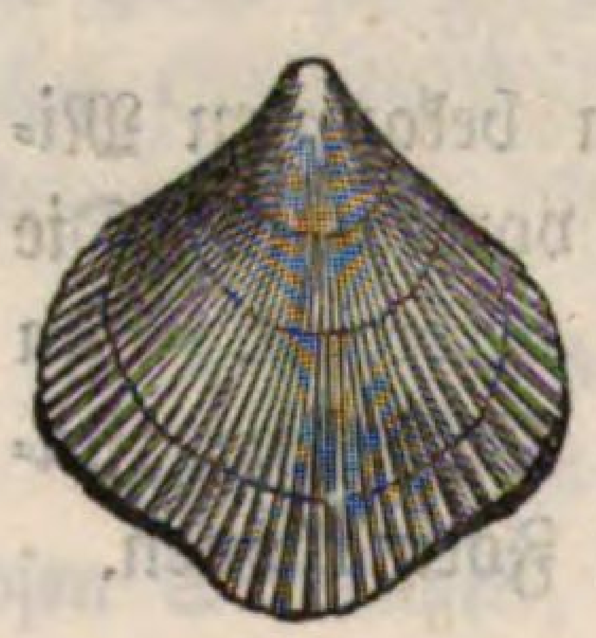
Diese Formation besteht vorzugsweise aus einem sehr characteristischen Sandsteine von heller (gelblicher oder grauer) Farbe, der gewöhnlich eisenschüssig ist. Der Quadersandstein führt seinen Namen mit Recht von der eigenthümlichen Structur seiner Gebirgsmassen; oft besitzen diese täuschende Aehnlichkeit mit aufgeführten Mauerwerken, wie z. B. in der Sächsischen Schweiz. Die Quadersandsteinberge sind schroff und steil, ihre Wände streben öfters fast senkrecht in

Fig. 29.



die Höhe. (Fig. 29, Lilienstein in der Sächsischen Schweiz). Auch finden sich mitunter einzelne freistehende Säulen von geringer Dicke, aber desto größerer Höhe. Höhlen oder Gewölbe von unbedeutender Ausdehnung kommen im Quadersandsteingebirge vor (Kuhstall, Prebischthor in der Sächsischen Schweiz). Tief eingeschnittene Schluchten sind dem Quadersandstein der Sächsischen Schweiz besonders eigen. Im Harz (Teufelsmauer bei Blankenburg) treten mehr lose Blöcke von bedeutenden Dimensionen auf. Das Material des Quadersandsteines in Deutschland ist fast immer feinkörnig und ohne Glimmer auf den Schichtungsflächen. In England erscheint der Quadersandstein mit Grünerdekörnchen durch seine ganze Masse hin durchdrungen, weßhalb man dort das Gestein Grünsand nennt. Im deutschen Quadersandstein kommen diese Grünerdekörnchen selten und nur an manchen Orten vor.

Fig. 30.



Zwischen dem Quadersandstein findet sich in Sachsen ein eigenthümlicher mergeliger Kalk in plattenförmiger Absonderung, der Pläner.

Der Karpathensandstein gehört gleichfalls in die eben betrachtete Formation.

Petrefacten: Pinna tetragona, Terebratula octoplicata (Fig. 30.), Ammonites Rhotomagensis, Scaphites aequalis.

c. Die Kreideformation

ist characterisirt durch das Vorkommen der bekannten Kreide. Diese besteht aus erdigem kohlensaurem Kalk, dem häufig Thonerde, Kieselerde u. s. w. beigemengt sind. Die Kreide constituirt keine hohen Gebirge, sondern nur Plateaus oder einzelne Felsen (Insel Rügen). Kieselige Concretionen — Feuersteine und Opale — kommen in Kreide sehr häufig vor (Fig. 31. ein ringförmiger Feuerstein von der Insel Rügen) und sind für dieselbe sehr bezeichnend. Nicht selten enthält die Kreide Grünerdekörnchen. Die Kreideformation findet sich sehr mächtig in England, Frankreich, Westphalen, im nördlichen Deutschland, in Belgien u. s. w. entwickelt.

Fig. 31.

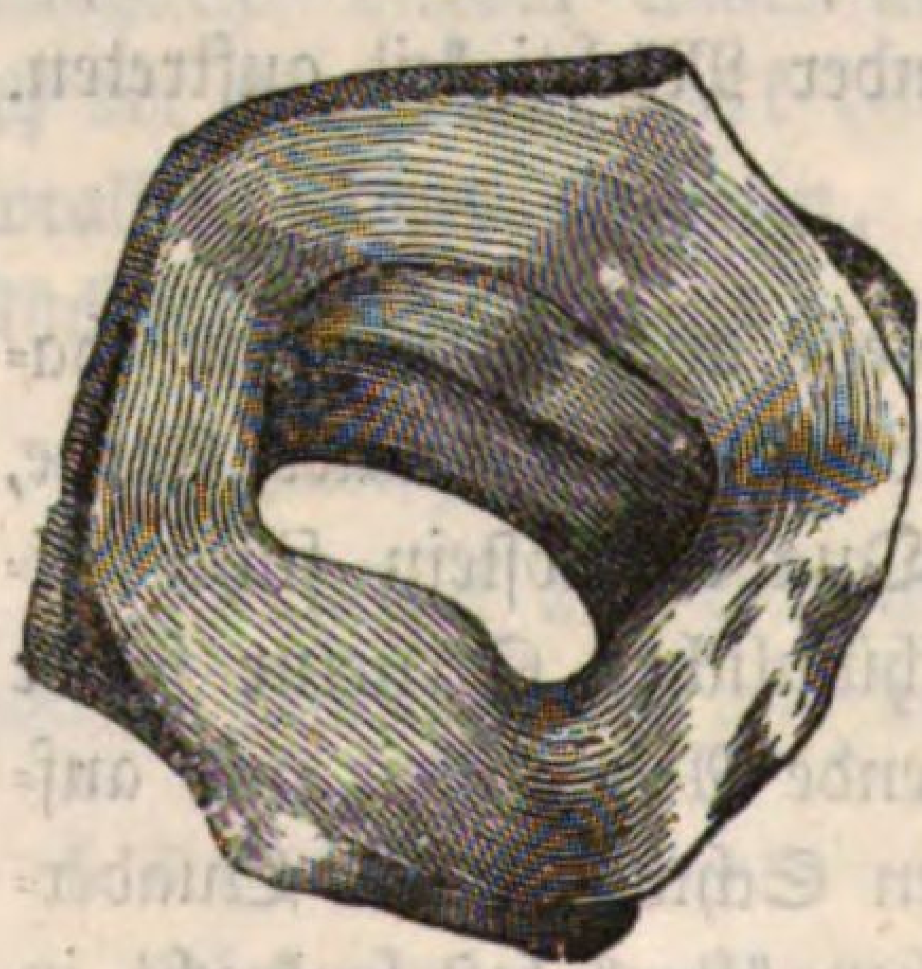


Fig. 32.



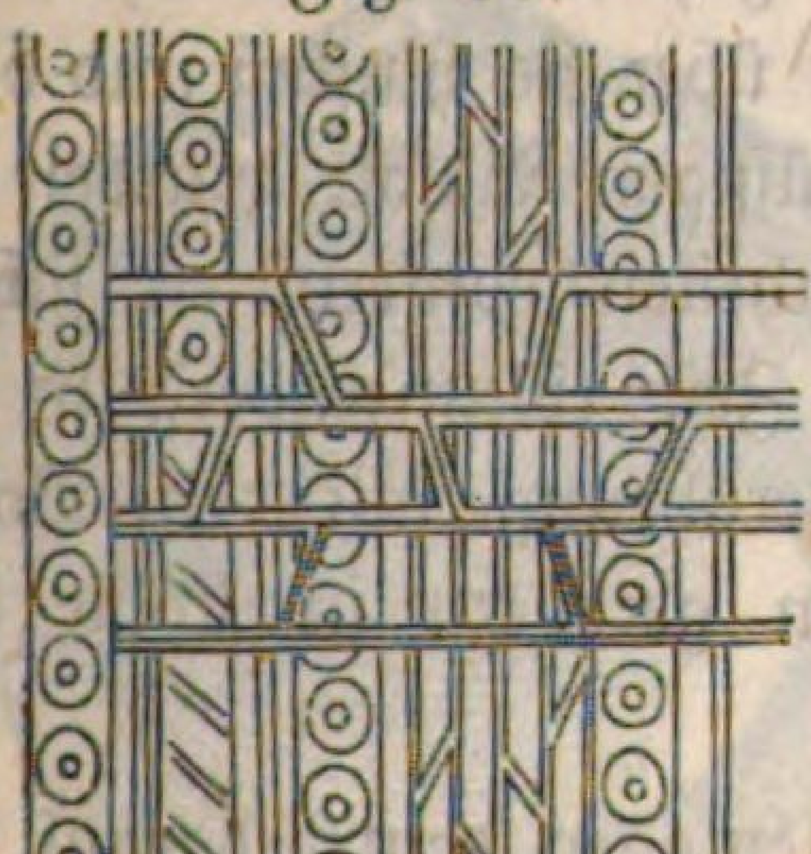
Petrefacten: Ostrea serrata, vesicularis, Spondylus spinosus (Fig. 32.) Terebratula carnea, Pecten quinquecostatus, Belemnites mucronatus.

8. Molassegruppe.

a. Die Braunkohlenformation

umfaßt eine Reihe von Gebilden, welche in ihrer Lagerung unmittelbar auf die Kreideformation folgen. Sie enthalten ungeheure Schichten von plastischem, grau oder grünlich gefärbtem Thon und Reste von Pflanzen, deren Vermoderung soweit vorgeschritten ist, daß sie eine braune oder schwarzbraune Färbung angenommen haben, — die sogenannten Braunkohlen. Sie stammen ihrer größten Masse nach von dikotyledonischen Bäumen her; Ahorne, Eschen, Ulmen, Eichen, Pappeln, Weiden, Nadelhölzer, aber sämmtlich mit keiner der jetzt lebenden Arten übereinstimmend, bildeten vorzugsweise die Baumvegetation der Braunkohlenformation. Von manchen Stämmen hat sich noch vollständig die Holzstructur erhalten; die Jahrringe und Holzzellen können sehr häufig ganz deutlich unterschieden werden. (Fig. 33. Ein Schnitt im Sinne des Radius durch das fossile Holz von Pinites ponderosus.) Auf die Wahrnehmung hin, daß Kohlensäure stets in den Braunkohlenlagern sich findet, hat Liebig folgende sehr wahrscheinliche Hypothese der Braunkohlenbildung gegründet. Er geht von der bekannten Zusammensetzung der Laubacher Braunkohle aus, welche enthält

Fig. 33.



Kohlenstoff	57 · 28
Wasserstoff	6 · 03
Sauerstoff	36 · 10
Asche	0 · 59
	100 · 00

und wofür sich die Formel $C_{33}H_{21}O_{16}$ berechnet. Diese leitet Liebig aus der Gay-Lussac'schen Formel des Eichenholzes ($C_{36}H_{22}O_{22}$) in der Weise ab, daß er 1 Aeq. Wasserstoff und 3 Aeq. Kohlensäure von letzterer abzieht. Als Rest bleibt dann also die Formel der Braunkohle. Hierbei wird aber angenommen, daß die Luft wenigstens so viel Zutritt zu der Braunkohle hatte, um den Wasserstoff zu Wasser zu oxydiren, daß dagegen sämmtlicher Sauerstoff der Kohlensäure aus der Holzfaser selbst herrühre.

Formel des Holzes	$= C_{36} H_{22} O_{22}$
hiervon ab 1 Wasserstoff und 3 Kohlensäure	$= C_3 \; H \; O_6$
bleibt als Rest Braunkohle	$C_{33} H_{21} O_{16}$

Daß die Braunkohlenlager in einigem, wenn auch unvollkommenem Zusammenhang mit der Luft stehen, hat die Beobachtung nachgewiesen; auch führen die Tagwasser, welche von oben her zu den Braunkohlen hinabsickern, immer Luft mit sich.

Die **Mächtigkeit** der Braunkohlenlager ist sehr verschieden. Sie erreichen an einigen Orten die Ausdehnung von 150 Fußen. Die einzelnen Flötze sind durch Lagen von Thon getrennt; diese kommen in Schichten von der Dünne einiger Linien bis zu mehrern Fußen vor. Viele von diesen Thonen sind unter dem Einflusse der vermodernden Braunkohlen ihres Eisengehaltes beraubt worden; sie eignen sich dann vorzüglich zur Porzellanbereitung. Besonders gilt dies von denjenigen Thonen, welche durch ihre ganze Masse hin mit Fragmenten von Braunkohlen durchdrungen und dadurch dunkel gefärbt sind.

Die Ueberlagerung der Braunkohlen mit Thon ist unzweifelhaft die Ursache ihrer Erhaltung gewesen. Durch den Thon wurden die Holzstämme von der atmosphärischen Luft fast gänzlich abgeschnitten, ihre Zersetzung konnte daher nur in sehr geringem Maaßstabe von statten gehen. An manchen Orten erhielten sich die Braunkohlen durch Basalt, der über sie hinfloß und dann erstarrte. (Laubach, Meißner). Durch den heißflüssigen Basalt wurden die Thone mitunter gebacken, Abdrücke von Pflanzentheilen conservirten sich in Folge dieses Umstandes bis auf die gegenwärtige Zeit (Münzenberg in der Wetterau). Auch die Braunkohle selbst erlitt in Berührung mit dem Basalt Veränderungen; sie erscheint an den Contactstellen geradezu in Kohle verwandelt.

Die bedeutende Mächtigkeit vieler Braunkohlenlager deutet darauf hin, daß nicht die ganze Summe der Gewächse, aus denen sie entstanden sind, an der gegenwärtigen Lagerstätte sich erzeugt habe; wir müssen hier, wie bei der Steinkohle, annehmen, daß ein Zusammenflößen stattfand. Für diejenigen Braunkohlenlager, welche, wie das von Dorheim in der Wetterau, aus fossilem Torf bestehen, läßt sich eine Erzeugung auf dem jetzigen Fundort zugeben.

Die Braunkohlen sind immer von Steinsalz, Gyps, Schwefeleisen, Schwefelcalcium und Alaun begleitet.

Die Braunkohlenformation findet sich in Böhmen, in der Lausitz, in Kurhessen am Meißner, bei Ringkuhl, am Habichtswalde, in der Wetterau (Salzhausen, Dorheim, Langgöns, Laubach), im Westerwalde und noch an vielen andern Orten.

b. Grobkalkformation.

Sie ist jünger als die eben betrachtete Braunkohlenformation und besteht hauptsächlich aus einem derben, im Bruch rauhen Kalkstein von heller gelblicher oder graulicher Farbe, der an vielen Orten durch einen ungeheuren Reichthum von fossilen Muscheln ausgezeichnet ist. Unter diesen sind die Geschlechter Nummulina, Cucullea, Miliola zu nennen. Auch Reste von Säugethieren, Fischen, Pflanzen kommen in der Grobkalkformation vor.

Der Grobkalk constituirt keine hohen Berge, er füllt mehr Bassin's und Becken aus. Mainz, Kassel, Paris u. s. w.

Fig. 34.



Petrefacten: Cerithium plicatum (Fig. 34.), Litorinella acuta.

c. Tegelformation.

Auch diese enthält einzelne Braunkohlenlager, doch von so geringer Mächtigkeit, daß nur selten der Abbau sich lohnt. Die ausgezeichneten Glieder dieser Formation sind Thone (der sog. Tegelthon in Böhmen hat der Formation den Namen verliehen) Sand, Sandsteine, Süßwasserkalke, Gyps und Mergel. Auch die sogenannte Nagelfluhe, ein in der Schweiz in bedeutender Mächtigkeit auftretendes Conglomerat, scheint ihrem Alter nach in die vorliegende Formation zu gehören. Die Gebilde der Tegelformation kommen in England, Frankreich, Böhmen, bei Wien, Mainz, Cassel vor.

Fig. 35.



Petrefacten: Petunculus pulvinatus (Fig. 35.), die Geschlechter Helix, Bulimus, Paludina, Planorbis u. s. w. Außerdem kommen mehrere, zum Theil wahrhaft gigantische Wirbelthiere, wie Mastodon, Dinotherium, Megatherium vor, deren Knochen man ziemlich vollständig erhalten fand.

9. Gruppe des Diluviums.

Die auf die Molassegruppe zunächst folgenden Veränderungen der Erdoberfläche nennt man die Diluvialbildungen. Sie fanden theils unter dem Einfluß der gewöhnlichen Kräfte der Verwitterung statt, theils verdanken sie ihre Entstehung gewaltigen Fluthen, welche durch Hebungen und Senkungen des Landes und des Meeresgrundes hervorgerufen wurden. Die bedeutendste Fluth dieser Art scheint aus Südwesten gekommen zu sein, darauf deutet wenigstens die in dieser Richtung zugespitzte Gestalt der meisten Continente (Afrika, Asien, Südamerika, Europa) und vieler Inseln hin. Durch diese

Fluthen wurden Theile der bereits vorhandenen Gesteinsarten dislocirt und in manchen Gegenden zusammengehäuft. Zwei merkwürdige Formationen dieser Art lassen sich unterscheiden — der Löß und die erratischen Blöcke.

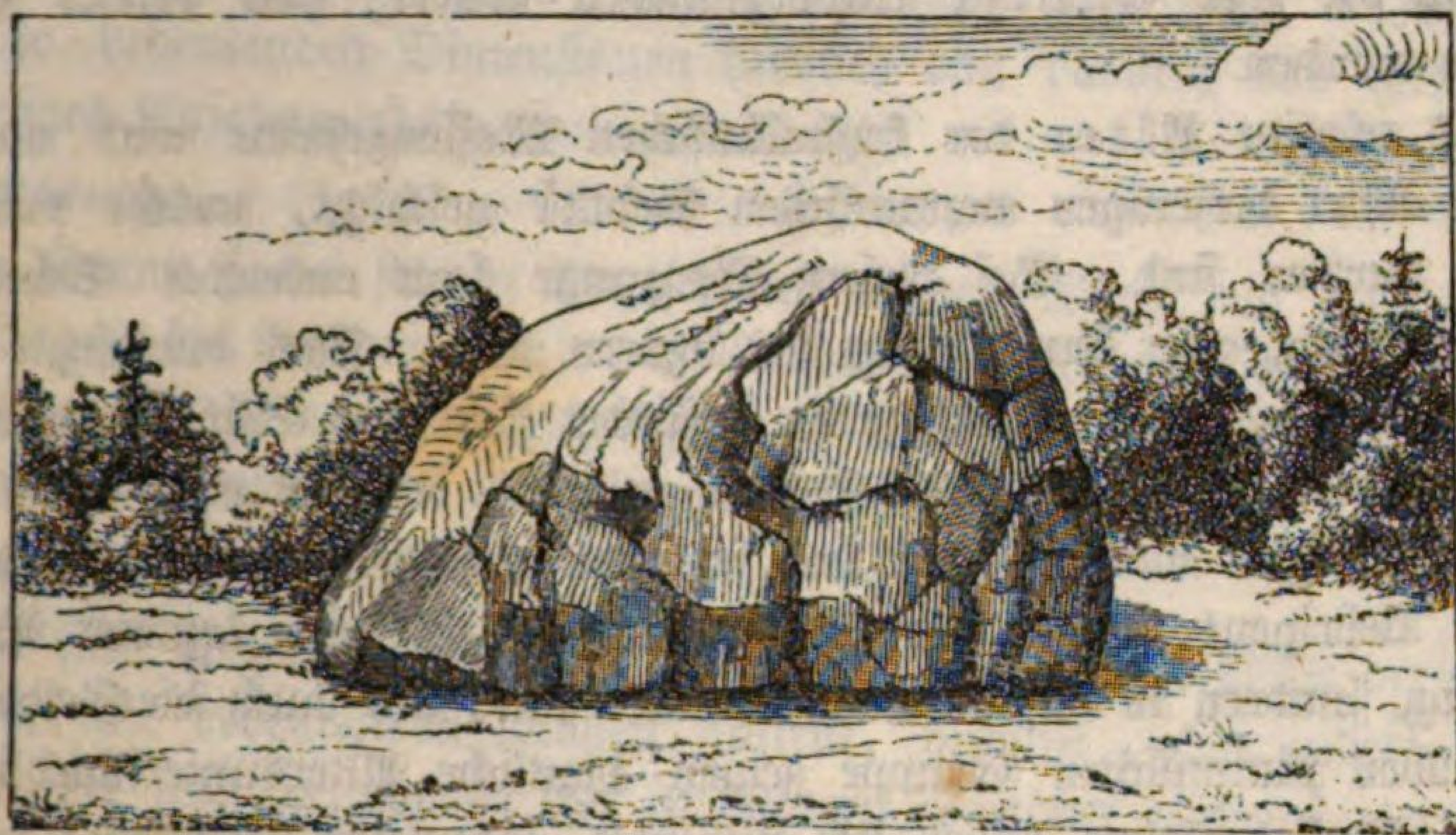
Die Lößformation findet sich vorzüglich in den Niederungen der Flüsse und an den flachen Küsten mancher Meere, doch ist sie auch über größere Länderstrecken, entfernt von den Flüssen und dem Meere, verbreitet. In Norddeutschland besteht sie aus Geschieben mannigfacher Art, deren abgerundete Form deutlich darauf hinweist, daß sie in bewegtem Wasser an einander gerieben worden sind. Der eigentliche Löß ist ein sehr feinkörniger Lehm mit vorwiegendem Kalkgehalt. Durch Regenwasser oder durch Bäche werden fast senkrechte Schichten von ihm abgelöst, daher die Benennung. Der Löß findet sich im Rheinthal von Basel bis Bingen, aber er verzweigt sich auch in die Seitenthäler des Rheins und geht selbst bis in die höhern Gebirge hinauf, in denen er freilich nur nesterweise vorkommt. Bezeichnend für den Löß sind Knollen von Mergel (die sog. Lößkindel). Der Löß nimmt das Wasser begierig auf und verwandelt sich damit in einen schlammigen Brei, ebenso schnell trocknet er aber auch wieder aus. Eine Menge kleiner Süßwasserconchylien findet sich in den Lößablagerungen.

Neben dem eigentlichen Löß kommen noch Geschiebe, Rollsteine und dergl. vor. Häufig, indessen nicht immer, lassen sich in der Nähe des Fundorts dieser Geschiebe die Muttergesteine auffinden, von denen sie stammen. Oefters sind die Geschiebe durch Süßwasserquarz und Raseneisenstein verkittet. An manchen Orten herrscht der Süßwasserquarz vor und erscheint dann mitunter in großen, von Höhlungen durchzogenen Blöcken, die wie angefressen aussehen. Es unterliegt keinem Zweifel, daß die Süßwasserquarze von der Verwitterung feldspathartiger Gesteine herrühren. Die Kohlensäure, gelöst in Wasser, schied aus diesen die Kieselsäure ab; letztere wurde vom Wasser fortgeführt und sammelte sich local an.

Auch Süßwasserkalkbildungen finden sich in dieser Formation. — Viele Lehm- und Thonlager gehören hinsichtlich der Zeit ihrer Entstehung der Diluvialperiode an. Dasselbe gilt von Knochenanhäufungen, die sich in manchen Höhlen finden.

Die Geschöpfe der Diluvialzeit sind höher organisirte Arten; verschiedene Säugethiere von mitunter riesenmäßiger Größe, deren Gebeine noch jetzt an vielen Orten ausgegraben werden. Pallas fand in den Eisablagerungen Sibiriens sogar ein mit Fleisch und Haut wohlerhaltenes Mammuth.

Fig. 36.



Die erratischen Blöcke (Fig 36, ein solcher Block von der Insel Moen) sind Felsenfragmente von unterschiedlicher Größe. Sie werden sowohl unter und auf den Geschieben der Lößformation, als auch auf den Gesteinsbildungen früherer geologischer Perioden angetroffen. Fast immer sind aber die Muttergesteine, von welchen sie stammen, von der gegenwärtigen Lagerstätte dieser Blöcke weit entfernt. So ist die ganze Norddeutsche Ebene mit erratischen Blöcken versehen. Das Material derselben stimmt so vollständig mit den Graniten, Gneißen, Syeniten und Porphyren Scandinaviens überein, daß man ihren Ursprung aus Schweden und Norwegen gar nicht in Zweifel ziehen kann. Verschiedene Hypothesen sind über die Art des Transports aufgestellt worden. Die Beobachtung, daß in manchen Thälern der Schweiz durch Gletscher bedeutende Gesteinsbrocken fortgeschoben werden, gab zu der Annahme Veranlassung, daß auch die erratischen Blöcke der Norddeutschen Ebene auf dieselbe Weise aus Scandinavien hinweggeführt worden seien.

Vierter Abschnitt.

Die plutonischen und die vulkanischen Felsarten.

1. Allgemeines.

Diejenigen Felsarten, welche ihren Ursprung aus einer feuerflüssigen Masse herleiten und dabei eruptiv auftreten, zeigen keine regelmäßige Schichtung, wie die neptunischen, oder auch selbst wie die krystallinischen Schiefergesteine. Auch ihre Absonderung ist in den meisten Fällen eine unregelmäßig massige, weßhalb man dieselben auch als Massengesteine bezeichnet. Die Textur dieser Gesteine ist krystallinisch, doch besitzen die Krystalle oft so geringe Dimensionen, daß sie mit bloßem Auge nicht unterschieden werden können.

Die Kräfte, durch welche das Material der plutonischen und vulkanischen Felsarten durch die feste Erdkruste emporgetrieben wurde, sind bereits Seite 4. angegeben worden.

Das relative Alter der krystallinischen Massengesteine wird nach dem bekannten Alter derjenigen neptunischen Gebilde geschätzt, welche von ihnen durchsetzt worden sind. Bei diesem Vorgange fand entweder Schmelzung, oder Aufrichtung, oder Umstülpung der letztern statt. Das durchsetzte Gestein ist immer älter, als das durchsetzende. Findet sich eine Schicht neptunischen Ursprungs über ein plutonisches Gestein gelagert, und ist erstes von letzterm nicht durchdrungen worden, so ist das sedimentäre Gestein jünger als das plutonische. Uebrigens fanden die Eruptionen der Gesteine letzterer Art nicht gleichmäßig, sondern in verschiedenen Epochen statt, und auch die Gesteine einer und derselben plutonischen Gruppe zeigen deutliche Altersunterschiedlichkeiten. Auch die Massengesteine haben sich mitunter gegenseitig durchsetzt; man hat hierdurch Aufschlüsse über das relative Alter dieser Gesteine unter sich erhalten.

Die Massengesteine müssen, zufolge ihres Ursprungs, frei von Petrefacten sein. Wenn man dennoch manchmal, wiewohl in seltenen Fällen, Versteinerungen in ihnen angetroffen hat, so rühren diese immer von Bruchstücken der Sedimentärgebilde her, welche durch die plutonischen Felsarten durchsetzt worden sind.

Die Erkaltung der Massengesteine fand, sowie die der krystallinischen Schiefergesteine, von Außen nach Innen statt.

Die Massengesteine nehmen im Ganzen nicht so ausgebreitete Gebiete ein, als die sedimentären Gebilde. Oft treten sie nur in Stöcken oder Gängen auf.

In dem Folgenden werden wir nun die einzelnen plutonischen und vulkanischen Felsarten nach ihrem Alter abhandeln, wobei wir von den zuerst gebildeten zu den jüngern übergehen.

2. Gruppe des Granits.

In diese rechnet man drei Felsarten, deren relatives Alter noch nicht gehörig ausgemittelt worden ist, den Granit, Syenit und Granulit.

a. Der Granit.

α. Zusammensetzung.

Der Granit besteht aus Feldspath, Quarz und Glimmer. Man unterscheidet folgende Abarten:

1) Protogyn. Er enthält Talk anstatt des Glimmers.
2) Pechmatit. Der Glimmer ist in einzelne Nester zurückgedrängt.
3) Schriftgranit ist ein Pechmatit, in welchem Quarz und Feldspath so verbunden sind, daß schriftähnliche Figuren entstehen.
4) Greisen ist ein Granit, in welchem der Feldspath fehlt, besteht also blos aus Quarz und Glimmer.

Der Granit erscheint grob- und feinkörnig. Oft treten einzelne Krystalle in so bedeutenden Dimensionen hervor, daß dadurch das Gestein ein porphyrartiges Ansehen erhält.

β. **Verbreitung.**

Der Granit findet sich in Deutschland in den Alpen, im Riesengebirge, im Erzgebirge, im Böhmer Wald, im Mährischen Gebirge, in den Sudeten, im Baierischen Wald und im Fichtelgebirge, im Harz, im Thüringer Wald, im Spessart, Odenwald und Schwarzwald.

γ. **Bergformen.**

Diese sind höchst mannigfacher Art. Im Allgemeinen bildet der Granit da, wo er mit bedeutenden Massen auftritt, plumpe, abgerundete Berge; auf diesen aber und da, wo er nur in kleinern Parthien erscheint, zeigen sich zackige schroffe Felsen mit steilen Abhängen und Klippen (Roßtrappe im Harze). Die Wände der Thäler sind oft steil, tief eingeschnitten und mit einzelnen Felsvorsprüngen besetzt. Zuweilen finden sich auf den Granitgebirgen sogenannte Felsenmeere, d. h. Haufwerke von Granitblöcken, die auf und neben einander liegen, wie im Fichtelgebirge, im Böhmerwald u. s. w. Abgerundete Blöcke dieser Art nennt man auch Wollsäcke. Die Granitberge sind gewöhnlich mit sogenanntem Granitgrus bedeckt, d. i. in kleine Brocken zerfallener Granit.

δ. **Verhalten gegen andere Felsarten.**

Von Granit sind nur die ältern Sedimentärgesteine (nebst den krystallinischen Schiefergesteinen) durchsetzt worden. Wahrscheinlich gehen die Graniteruptionen nicht über die Grauwackengruppe hinaus, d. h. nach Ablagerung dieser Gruppe hörten die Graniteruptionen auf. Daß der Granit bei seinem Hervortreten an die Erdoberfläche oft schon so weit abgekühlt war, um eine selbständige Form bewahren zu können, beweisen die schroffen Felszacken auf den Gipfeln vieler Berge. Dann hat der Granit aber auch wieder in ganz feinen Adern und förmlich netzförmig manche Gesteine durchdrungen, was wieder auf eine Dünnflüssigkeit zur Zeit seiner Verbreitung in diesen Gesteinen hindeutet. Durchsetzungen von Graniten durch Granite gehören keineswegs zu den Seltenheiten und kommen u. A. bei Heidelberg, am Montblanc (Durchsetzung von Granit durch Protogin) vor.

b. **Der Syenit**

α. besteht aus Feldspath und Hornblende. Durch Aufnahme von Quarz und Glimmer bilden sich Uebergänge in Granit.

β. Seine Verbreitung ist geringer als die des Granits. Er findet sich im Erzgebirge, in Sachsen, Thüringen, im Odenwalde u. s. w.

γ. Die Bergformen des Syenits sind einfacher als die des Granits. Ein Felsenmeer von Granitblöcken findet sich bei Reichenbach im Odenwalde.

c. **Der Granulit**

enthält blos Feldspath und Glimmer, häufig auch Granaten, und besitzt eine geringe Verbreitung. Er kommt im Erzgebirge und im Odenwald (Balkhausen) vor. Der Granulit konstituirt nur hügeliges Land.

3. Gruppe des Grünsteins.

Unter den plutonischen Gebilden schließt sich die Gruppe des Grünsteins zunächst an die des Granits an, so zwar, daß auch noch während der Periode der Graniteruptionen Ausbrüche von Grünsteinen erfolgten. Auch in ihrer Zusammensetzung stehen manche Grünsteine den granitischen Gesteinen (insbesondere dem Syenit) sehr nahe.

a. **Die Gesteine der Grünsteingruppe sind folgende:**

α. Amphibolit. Besteht vorzugsweise aus dunkelgrüner bis schwarzer Hornblende, zu welcher bisweilen etwas Albit, Quarz und Glimmer hinzukommen.

β. Diorit. Nach Rose ein körniges Gemenge von Albit und Hornblende.

γ. Serpentin. Besteht aus Kieselsäure, Talkerde, Eisenoxydul und Wasser.

δ. Gabbro. Körniges Aggregat aus Labrador oder Saussurit und aus Diallag oder Smaragdit.

ε. Hyperit. Enthält Hypersthen und Labrador in körnigem Gemenge.

ζ. Eklogit. Enthält Smaragdit und Granat.

η. Aphanit. Scheinbar gleichartiges Gemenge aus Hornblende und Albit.

ϑ. Diabas oder eigentlicher Grünstein. Körniges Gemenge von Labrador- oder Oligoklas-Feldspath mit Augit und Chlorit. Eine Abart des Diabases ist der Schalstein, von dessen Zusammensetzung später die Rede sein wird.

b. **Verbreitung.**

Auch die Grünsteine sind über die ganze Erde verbreitet, doch nehmen sie nicht so bedeutende Gebiete, wie die Gesteine der Granitgruppe ein. Sie finden sich in dem Riesengebirge, den Sudeten, dem Erzgebirge, im Fichtelgebirge, im Harz, im Rodhargebirge, im Odenwald, in Nassau (Schalstein), in den Alpen (Serpentin).

c. **Verhalten gegen andere Gesteine.**

Von den Grünsteinen sind nachweislich die krystallinischen Schiefergesteine, der Granit, das Steinkohlengebirge und die Formation des Rothliegenden durchsetzt worden. Sehr merkwürdige Veränderungen erlitt der Thon-

schiefer in Contact mit den Grünsteinen. Er wurde gebleicht, in Jaspis verwandelt und vielfach gebogen und gewunden. Dabei drang der heißflüssige Grünstein oft in ganz dünnen Lamellen zwischen die Lagen des Thonschiefers ein. Kalk, in Berührung mit Grünsteiu, nahm krystallinisches Gefüge, Sandstein die bei dem Grünstein häufige massige, knollige, kugel- und säulenförmige Absonderung an. Der Schalstein erscheint oft zwischen Lagen von Stringocephalenkalk eingekeilt (Nassau).

d. **Bergformen.**

Die Grünsteine treten über der Erde selten in größern Massen auf, sondern kommen mehr in kleinen Kuppen zu Tage. Dagegen sind viele andere Gesteine, namentlich krystallinische Schiefergesteine, durch Grünstein gehoben worden, und es ist in diesem Falle die Oberflächengestaltung durch die Grünsteine bedingt. Berge der Art zeigen von ihrem Fuße an eine kreisbogenförmige Ansteigung, während den Gipfeln die Gestalt von flachen Kegeln eigen ist (Rodhargebirge). Die Schalsteine formiren im Ganzen ebenes, oder doch nur hügeliges Land. Der Serpentin soll in Rußland und Sibirien bedeutende Berge zusammensetzen.

Die Grünsteine sind ausgezeichnet durch ihren Reichthum an Kupfer- und Eisenerzen (Harz, Nordamerika).

4. Gruppe des Felsitporphyrs.

a. **Zusammensetzung.**

α. Der eigentliche Felsitporphyr besteht aus einer dichten Grundmasse und aus eingewachsenen Krystallen (Einsprenglingen). Die Grundmasse ist ein scheinbar gleichartiges, höchst inniges Gemenge von Feldspath, Quarz und Glimmer, die Einsprenglinge bestehen aus Krystallen von denselben Mineralien, also gleichfalls Feldspath, Quarz und Glimmer. Je nachdem eines oder das andere von diesen vorherrscht, nennt man den Porphyr: Feldspathporphyr: Quarzporphyr, Glimmerporphyr.

Früher unterschied man nach der dichtern oder lockerern Constitution der Grundmasse: Feldsteinporphyre und Thonsteinporphyre. Diese Eintheilung muß, da sie nur auf der mehr oder weniger vorgeschrittenen Verwitterung beruht, fallen gelassen werden.

β. In die Gruppe des Felsitporphyrs gehört auch der Pechstein und Pechsteinporphyr. Diese bestehen aus der in einander geflossenen Masse des Porphyrs.

Die Porphyre sind sehr wesentlich charakterisirt durch das Vorkommen von oft ungeheuren Conglomeratmassen, welche entstanden sind durch Einwirkung der Porphyre auf sedimentäre Gesteine. So besteht das Conglomerat im Schwarzwald und den Vogesen aus Brocken von Porphyr und rothem Sandstein nebst rothem Thon. Dieses Conglomerat geht ganz unmerklich in

den Sandstein über. In Sachsen besteht das Conglomerat aus Porphyr und Thonschiefer. Die Formation des Rothliegenden scheint ihre Entstehung zum größten Theil den Porphyren zu verdanken.

Die bei den Porphyren gewöhnlichen Absonderungsformen sind neben der massigen die kugelige, plattige und säulenförmige. Es giebt Säulen von 60 Fuß Länge bei einem Durchmesser von nur wenigen Zollen.

b. **Verbreitung.**

Der Porphyr findet sich allenthalben, doch selten in größern zusammenhängenden Gebieten. In den Alpen, in Tyrol, im Schwarzwald, den Vogesen, an der Nahe bei Kreuznach, im Odenwald, im Thüringer Wald, im Königreich Sachsen, im Harz (Auerberg bei Stolberg), in Ungarn, den Sudeten, im Riesengebirge.

c. **Verhalten zu andern Gesteinen.**

Daß die Porphyre Veranlassung zur Bildung von Conglomeraten gegeben haben, ist soeben erwähnt worden. Durchsetzungen andrer Gesteine von Seiten des Porphyr hat man vielfach beobachtet und zwar beim Granit, Thonschiefer, Gneiß, Glimmerschiefer, buntem Sandstein u. s. w.

d. **Bergformen.**

Der Porphyr bildet selten abgerundete Berge, sondern meist einzelne klippenartige Höhen mit scharfen, zackigen Kanten, oder doch, wo diese Spitzen fehlen, kegelförmige Erhebungen, die fast immer unter einem starken Winkel ansteigen. Die einzelnen Porphyrberge erscheinen dabei isolirt und ohne Zusammenhang.

5. Gruppe des Melaphyrs.

a. **Zusammensetzung.**

Auch der Melaphyr besteht aus einer Grundmasse und aus Einsprenglingen. Ueber erstere ist man noch nicht recht im Klaren. Sie scheint zum größten Theil aus Labrador zu bestehen. Ihre röthlich-braune Farbe verdankt sie einem Gehalt von Braunspath ($CaO\,CO_2 + MgO\,CO_2 + FeO\,CO_2$). Ist sie gründlich gefärbt, so rührt dies von Chlorit her.

Die Einsprenglinge sind wahrscheinlich nur Producte der Verwitterung. Sie bestehen aus Braunspath, Kalkspath, Schwerspath u. s. w. und kommen in Form von Mandeln vor. Der Melaphyr ist stellenweise vollständig von Blasenräumen durchzogen. Kugelige Absonderung tritt nicht selten auf.

b. **Verbreitung.**

In den ausgedehntesten Massen kommt der Melaphyr in den Alpen vor, woselbst er viele sedimentäre Gesteine gehoben hat. Er steht dort in einem sehr innigen Verhältniß zu den Dolomiten. Außerdem findet er sich im Hundsrück, Odenwald, Thüringer Wald, Sachsen, Schlesien und Böhmen.

c. **Bergformen.**

In den Alpen bildet der Melaphyr da, wo er zu Tage tritt, ansehnliche, abgerundete Berge. Im übrigen Deutschland nimmt er meist ebne Lagen ein, aus denen sich einzelne Kuppen erheben.

d. **Durchsetzungen**

sind u. A. bei Oberhohendorf in Sachsen (im Rothliegenden) und im Plauenschen Grunde bei Dresden (im Syenit) bemerkt worden.

Der Melaphyr umfaßt diejenigen Gesteine, welche man früher Augitporphyr, Mandelstein, Trapp, Trappmandelstein genannt hat.

6. Gruppe des Basaltes, Phonoliths und Trachyts.

a. **Basalt.**

α. **Zusammensetzung.**

Nach neueren Untersuchungen besteht der Basalt aus Labradorfeldspath, Augit, Magneteisen und einem wasserhaltigen Thonerdesilicat (Zeolith). Hierzu kommt noch, wiewohl in nicht constantem Verhältniß und nicht gleichmäßig durch die Masse des Gesteins vertheilt, Olivin, der sowohl in mikroscopisch kleinen Partikeln, als in Klumpen von der Größe eines Kinderkopfes auftritt und sich durch seine grüne Farbe auszeichnet.

Der Basalt ist stellenweise ganz und gar von mehr oder weniger großen Blasen durchzogen, die häufig mit Zeolithen (Mesotyp, Chabasit, Thomsonit, Epistilbit, Harmotom u. s. w.) ausgekleidet sind. Zuweilen zieht sich ein Strich von größern Blasen durch das kleinlöcherige Gestein hindurch.

Fig. 37.

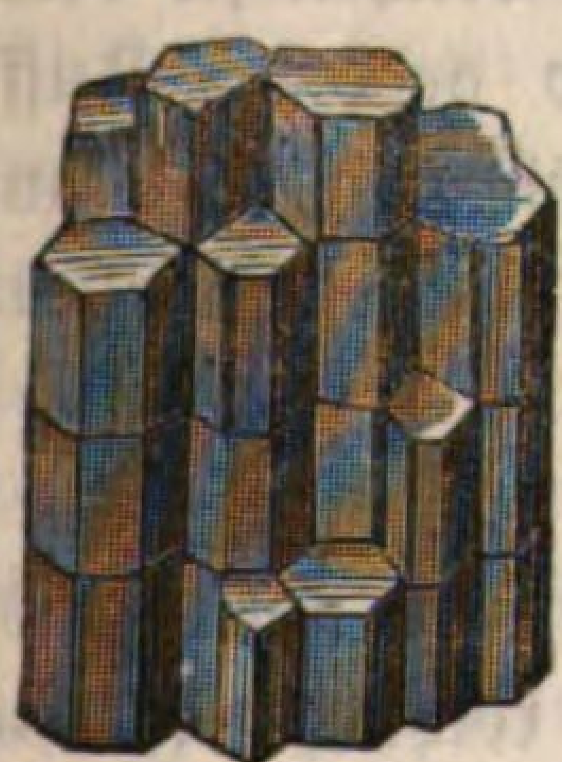


Fig. 38.



Treten die einzelnen Bestandtheile so auseinander, daß sie deutlich unterschieden werden können, so heißt das Gestein Dolerit, sind sie dagegen innig und bis zum Unkennbaren gemengt — Anamesit. Nicht selten ist Nephelin ein Begleiter des Dolerits (Katzenbuckel im Odenwald).

Eine der häufigsten Absonderungsformen des Basaltes ist die prismatisch säulenförmige mit fünf oder sechs Seitenflächen (Fig. 37.). Die Dicke der Säulen schwankt von weniger als einem Zoll bis zu mehreren Fußen. Auch die Längenausdehnung ist sehr verschieden. Meist sind die Säulen gegliedert, zuweilen sind dann die Ränder einer solchen Säule übergreifend, so daß die obere Fläche derselben eine Vertiefung hat (Fig. 38.). Auch kommen im Zickzack gebogene Säulen vor. Die Säulen stehen nicht immer senkrecht auf die Erdoberfläche, sondern gehen häufig

radienförmig von einer kleinen Basis aus und neigen sich dann in einem Bogen wieder zur Erde. Wir haben schon früher erklärt, daß die Säulenbildung nichts Anderes, als eine Absonderung sei; sie wurde durch einseitige Erkaltung der heißflüssigen Masse hervorgerufen. Indessen setzt die säulenförmige Absonderung eine Gleichartigkeit des geschmolzenen Materials und langsame Abkühlung voraus. In Irland und Frankreich besteht die Oberfläche großer Länderstrecken nur aus den Köpfen solcher Basaltsäulen; sie bilden die sogenannten Riesendämme. Daß der Basalt in Berührung mit buntem Sandstein auch den letztern zur Absonderung in Säulen veranlaßte, haben wir bereits an einem andern Orte erwähnt. — Auch die plattige und kugelige Absonderung tritt beim Basalte nicht selten auf; am häufigsten kommt aber die unregelmäßig massige vor.

Begleiter des eigentlichen Basaltes sind die Wacke, Basalt-Conglomerate und Tuffe. Unter Wacke versteht man eine erdige Abänderung des Basaltes mit grünlicher, gelb-brauner oder röthlicher Farbe und flachmuschligem, rauhem Bruch, häufig durch eingewachsene Krystalle, z. B. von Augit, Magneteisen, Glimmer, Hornblende, Feldspath ein porphyrartiges Aussehen annehmend. Die Wacke fühlt sich etwas fettig an und hinterläßt, wenn man sie mit dem Nagel eines Fingers reibt, einen glänzenden Strich. Auch Blasenräume, zum Theil mit Kalkspath, Arragonit oder zeolithartigen Mineralien ausgefüllt, kommen in der Wacke vor. Ob dieselbe eine ursprüngliche Bildung oder ein Produkt der Verwitterung des Basaltes sei, ist noch zweifelhaft. Gewöhnlich erscheint die Wacke als ein die Basaltstöcke einhüllender Mantel. Sie constituirt mitunter beträchtliche Gebirgsmassen. — Der Basalttuff hat mit der Wacke große Aehnlichkeit, nur sind in ihm die Einsprenglinge vorherrschend, und die Wacke macht nur den Teig, durch welchen sie verkittet werden, aus. Erhält das Bindemittel die Oberhand, so geht der Tuff in Wacke über. — Das Basaltconglomerat enthält denselben Kitt, außerdem aber Fragmente von Basalt. Auch diese Gesteinsart findet sich mitunter isolirt vom eigentlichen Basalt, in Gängen und Spalten, öfters auch für sich allein kleinere Berge zusammensetzend.

Der Basalt ist von Farbe kohlschwarz, blauschwarz oder grünschwarz. Die blasigen Varitäten besitzen gewöhnlich hellere (graue, röthliche) Färbung.

β. **Verbreitung.**

Die beiden größten Basaltlager in Europa haben die Auvergne und das Vogelsgebirge aufzuweisen. Außerdem kommt der Basalt in kleinen Kuppen durch fast alle Gebirge hin zerstreut vor. In größerer Häufigkeit erscheinen die Eruptionen des Basaltes in dem Gebiete zwischen der Eifel und dem Erzgebirge. Die hohe Rhön, der Westerwald und das Vogelgebirge bestehen fast ganz aus Basalt. Böhmen besitzt eine sehr große Zahl von Basaltkuppen. Andere Orte ausgezeichneten Vorkommens sind der Habichtswald und der

Meißner in Kurhessen, der Thüringerwald, das Fichtelgebirge, die Sächsische Schweiz (Großer und Kleiner Winterberg), das Erzgebirge, der Odenwald, das Siebengebirge bei Bonn, die Eifel, der Kaiserstuhl im Breisgau. — Der Dolerit kommt sehr schön am Katzenbuckel im Odenwald, bei Weiches im Vogelsgebirge, Aussig in Böhmen, auf den Faröernoor; der Anamesit unter andern bei Steinheim in der Nähe von Frankfurt a. M., in Böhmen &c.

γ. **Bergformen.**

Wo der Basalt in größern Massen auftritt, wie im Vogelsgebirge und im Westerwald, da bildet er Plateaus mit wellenförmiger Terrassirung und weniger ausgezeichneten Spitzen. Das ganze Gebirge erscheint als ein Kugelsegment. Ist aber der Basalt vereinzelt aus andern Gebirgsformationen, insbesondere den sedimentären, hervorgebrochen, so zeigt er eine von der vorigen ganz verschiedene Gestaltung; seine Berge sind nämlich alsdann auffallend kegelförmig (Fig. 39, die Basaltkegel Gleiberg und Vetzberg bei Gießen) und häufig ist deren Spitze aus nach oben hin convergirenden Säulen zusammengesetzt.

Fig. 39.

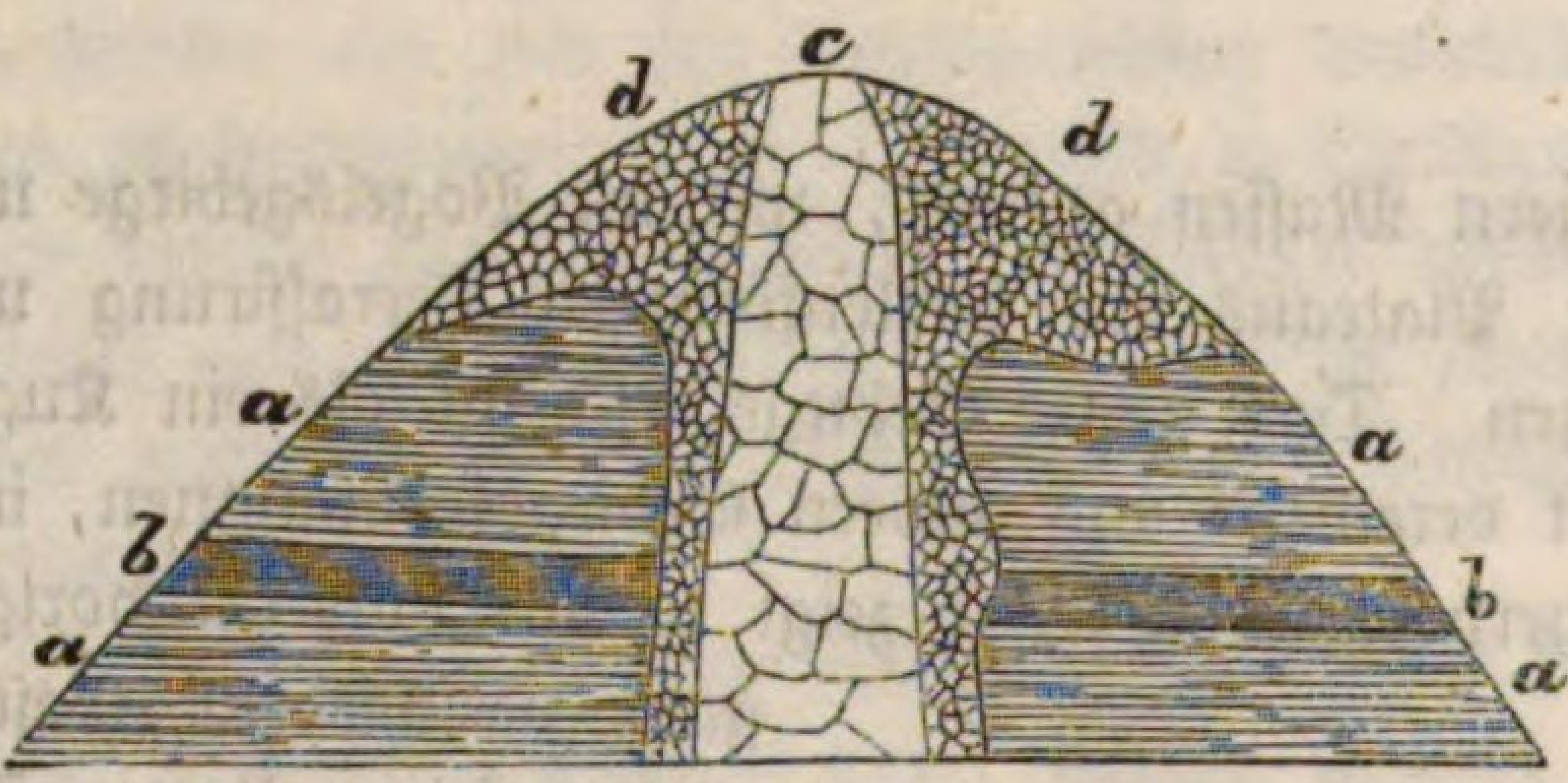


δ. **Verhalten zu andern Gesteinen.**

Der Basalt durchsetzt alle sedimentären Schichten, mit Ausnahme der Diluvialgruppe, ferner alle bis jetzt aufgeführten plutonischen Gesteine. Erstere sind dadurch an den Berührungsstellen häufig umgeändert worden. Sandstein wurde geschmolzen, zusammengebacken und gefrittet oder nahm die säulige Absonderung des Basaltes an; Thon und Schieferthon wurde in eine ziegelartige, Thonschiefer und Grauwacke in eine steingutähnliche Masse verwandelt und gleichfalls nicht selten säulig abgesondert, Braunkohlen verkohlt. Merkwürdiger Weise zeigt der bunte Sandstein in Contact mit Basalt häufig eine hellere Färbung. Der Feldspath und Quarz des Gneißes wurde in Berührung mit Basalt geschmolzen. Alle diese Thatsachen weisen unwiderleglich darauf hin, daß der Basalt in feuerflüssigem, geschmolzenem Zustand aus dem Erdinnern emporgedrungen ist. Der Basalt hat viele Aehnlichkeit mit der Lava der noch heutiges Tages thätigen Vulkane, seine Oberfläche erscheint öfters, gerade wie die Lava, verschlackt. In dem Französischen Basaltgebiete hat man frühere Krater und Basaltströme beobachtet, gerade wie am Vesuv oder Aetna. Im Vogelsgebirge findet sich ein sogenanntes Felsenmeer, welches aus ungeheuren Basaltblöcken besteht. Indessen erfolgten die Ausbrüche des Basaltes nicht alle gleichzeitig; es lassen sich verschiedene Perioden in denselben unter-

scheiden. Durchsetzungen von Basalt durch Basalt sind an vielen Orten z. B. bei Lauterbach im Großherzogthum Hessen, aufgefunden worden. Auf die Beziehungen des Basaltes zur Braunkohlenformation wurde schon früher aufmerksam gemacht.

Fig. 40.



Als specielles Beispiel für die Durchsetzungen sedimentärer Bildungen durch Basalt führen wir den Ziegenkopf am Habichtswald an. a, a in Fig. 40. bedeuten Braunkohlen-Thon und Sand, b, b das eigentliche Braunkohlenlager, c compacten Basalt, d Basaltconglomerat.

b. Phonolith.

α. Zusammensetzung.

Der Phonolith führt seine Benennung von dem Griechischen **φωνὴ** = Klang und **λιϑος** = Stein; zu Deutsch heißt also Phonolith Klingstein; diese Bezeichnung rührt davon her, weil die Platten dieses Gesteins beim Schlagen mit dem Hammer einen hellen Ton hören lassen. Er besteht aus einer Grundmasse mit Einsprenglingen. Erstere ist aus einem Kali-Natronfeldspath und einem Zeolith zusammengesetzt. Die Einsprenglinge werden von glasigem Feldspath, den man Sanidin nennt, gebildet. Der Phonolith besitzt meist eine graue Farbe, doch kommt auch die gelbgraue und röthliche vor. Eine für den Phonolith besonders characteristische Absonderungsform ist die plattige; doch findet sich auch die säulige, kugelige und am häufigsten die unregelmäßig massige Die Phonolithplatten sind oft so dünne, daß sie, wie Schiefer, zum Dachdecken benutzt werden. Drusenräume sind nur selten mit Zeolithen ausgekleidet.

β. Verbreitung.

Der Phonolith nimmt nicht so bedeutende Strecken Landes ein, wie der Basalt; indessen findet man ihn in einzelnen Kuppen durch das ganze Basaltgebiet hin. In größerer Ausdehnung trifft man den Klingstein in dem Rhöngebirge (Milseburg, Pferdekopf) und in Böhmen (Biliner Stein, Teplitz, Carlsbad). Außerdem kommt er bei Andernach, am Kaiserstuhl bei Freiburg, in Schottland, Ungarn, Spanien, auf Teneriffa u. s. w. vor.

γ. Bergformen.

Diese sind denen des Basaltes ähnlich, doch bildet der Phonolith eher freiliegende massige Berge, als der Basalt. Sehr characteristisch zeigt sich die Bergform des Phonoliths an der Milseburg; von fern gesehen gleicht sie einem

beladenen Wagen. Steile Abhänge auf der einen und allmähliges Ansteigen auf der andern Seite machen die Phonolithberge schon von weitem kenntlich.

δ. **Verhalten zu andern Gesteinen.**

Der Phonolith durchsetzt die nämlichen plutonischen und sedimentären Gebilde, wie der Basalt und auch sehr häufig den letzten selbst, während umgekehrt Durchsetzungen von Phonolith durch Basalt seltener vorkommen. Deshalb ist jener auch wahrscheinlich in den meisten Fällen das jüngere Gestein. Sandsteine und Thone haben in Berührung mit dem Klingstein die beim Basalt beschriebenen Veränderungen erlitten. Tuffe und Conglomerate finden sich im Phonolithgebiet seltener.

c. **Trachyt.**

α. **Zusammensetzung.**

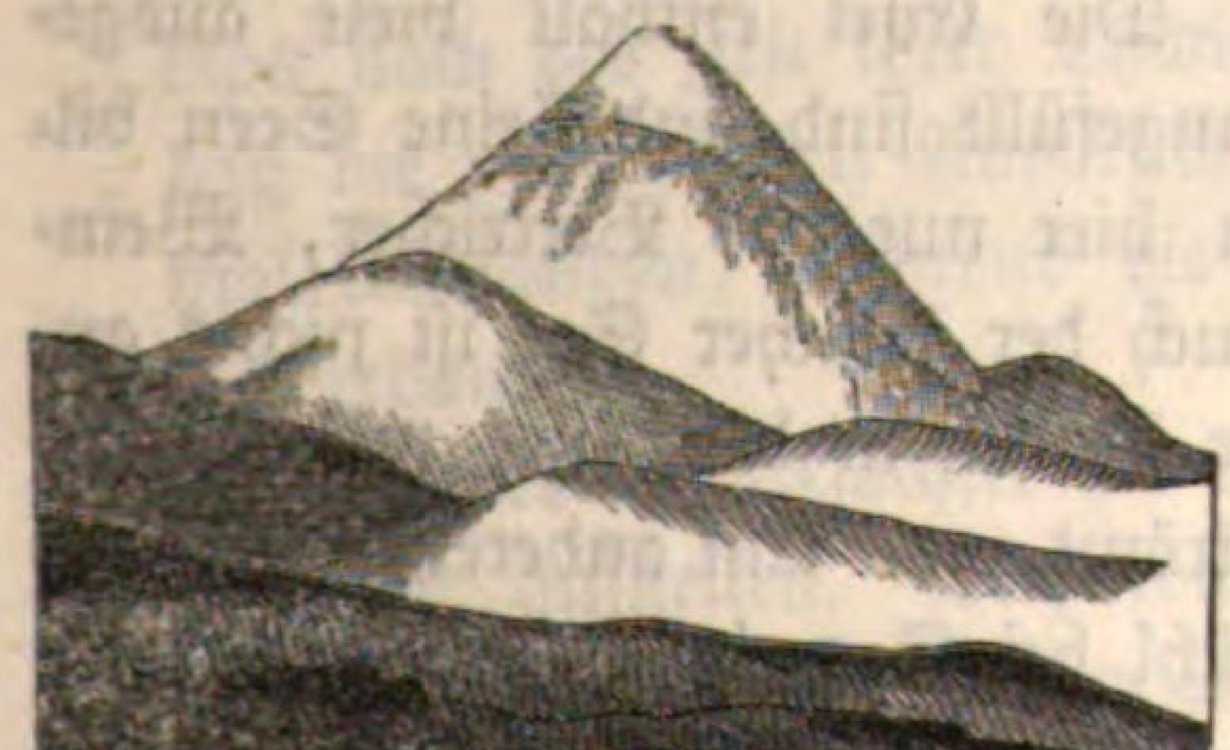
Die Grundmasse des Trachyts besteht aus Magneteisen und Feldspath; in dieser finden sich Einsprenglinge von Sanidin. Letzterer besitzt zuweilen sehr beträchtliche Dimensionen; Stücke von der Größe einer Wallnuß bis zu derjenigen einer Pomeranze sind nichts seltenes. Die Farbe des Trachyts ist die nämliche, wie die des Phonoliths. Seltenere Einsprengsinge sind Hornblende und Glimmer. Oft ist der Trachyt porös und selbst blasig, und auch Drusenräume bis zu einem Fuß Weite kommen vor.

Die Absonderungsformen des Trachyts sind die unregelmäßig massige, säulige, platten- und auch wohl die kugelförmige, doch trifft man die säulige nicht so häufig, wie bei dem Basalt an. Der Trachyt geht öfters in Phonolith über. Auch von Trachyt kennt man Tuffe und Conglomerate.

β. **Verbreitung.**

In Deutschland kommt der Trachyt sehr vollständig entwickelt im Siebengebirge bei Bonn (Drachenfels, Wolkenburg) vor. In der Rhön finden wir ihn am Pferdekopf, in Böhmen, Ungarn, auf der Insel Teneriffa (Pic de Teyde). In der Auvergne wird eine Reihe von Gebirgsgipfeln von einem dem Trachyt verwandten Gestein, dem D o m i t gebildet (Puy de Dome). Mit dem Domit nahe übereinstimmend ist der Andesit der Cordilleren von Amerika. Die höchsten Berge dieser Kette (Chimborazo Pitchincha u. s. w.) bestehen aus Andesit. Auch der Dawalaghiri in Asien soll ein Trachytberg sein.

Fig. 41.



γ. **Bergformen.**

Diese sind denen des Basaltes ähnlich, nur mehr dom- und glocken- als kegelförmig. (Fig. 41. Pic de Teyde auf Teneriffa). Große durch Klüfte getrennte Blöcke kommen ziemlich häufig im Gebiete des Trachyts vor.

δ. **Verhalten zu andern Gesteinen.**

Der Trachyt durchsetzt die nämlichen Formationen, wie der Basalt und Phonolith. Gegenseitige Durchsetzungen von Trachyt und Basalt sind häufiger, als von Trachyt und Phonolith.

7. Gruppe der Vulkane.

a. Zusammensetzung der vulkanischen Gebilde.

Die Gesteine, welche die Producte der Vulkane ausmachen, schließen sich in ihrer Zusammensetzung sehr nahe an Basalt, Phonolith und Trachyt an. Die Auswürflinge der Vulkane bestehen in Lava, Obsidian, Bimsstein, Pechstein, Perlstein, Traß, Tuff, Lapilli u. s. w. Alle diese Gesteine sind Doppelsilicate von kieselsaurer Thonerde mit kieselsauren Alkalien oder kieselsaurem Kalk.

Die Lava hat die größte Aehnlichkeit mit den Schlacken unserer Hochöfen. Der Obsidian besitzt das Ansehen eines schwarzen, auch wohl blauen, gelben, rothen Glases, er hat vollkommen muschligen Bruch und durchaus kein krystallinisches Gefüge. Er kommt sowohl in dicken Brocken, als in kleinern Körnern vor. Oft ist der Obsidian ganz und gar von größern und kleinern Blasen durchzogen; man nennt ihn alsdann Bimsstein. Dieser schwimmt wegen der vielen lufterfüllten Räume, die er enthält, auf dem Wasser. Der Traß besitzt erdige Beschaffenheit und das Ansehen von Mauermörtel, er ist leicht zerreiblich. Man kann ihn als erdigen Trachyt betrachten. Die Lapilli sind kleinere Fragmente der Lava; oft bestehen sie ganz aus Augit oder Magneteisen. Die Oberfläche der vulkanischen Berge in der Nähe der Krater ist oft mehrere Fuß dick von den Lapilli bedeckt.

b. Verbreitung.

Man unterscheidet die Vulkane in erloschene und noch thätige. Von letzteren finden sich in Deutschland keine; dagegen hat man unzweifelhafte Spuren von erloschenen Vulkanen bemerkt, wie z. B. in der Eifel in der Umgebung des Laacher See's, nicht weit von Andernach am Rhein. Die Eifel ist wesentlich ein Basaltgebirge, welches sich indessen von andern basaltischen Bildungen (wie z. B. Vogelsgebirge, Rhön u. s. w.) durch häufige Schlacken, Obsidian, Bimsstein u. s. w. unterscheidet. Die Eifel enthält viele ausgebrannte Krater, die zum Theil mit Wasser angefüllt sind und kleine Seen bilden. Man nennt sie Maare. Wir führen hier nur das Bertricher, Weinfelder, Meerfelder und Pulver-Maar an. Auch der Laacher See ist nichts anderes, als ein solches Maar. Vielfach ist der Boden in der Eifel mit Sprüngen durchzogen, aus welchen Kohlensäure strömt. — Ein anderer bemerkenswerther erloschener Vulkan ist der Kammerbühl bei Eger in Böhmen. Wenn demselben zwar der Krater fehlt, so ist doch die vulkanische Natur des Ge-

birges durch eine große Menge Schlacken bewiesen. — Auch in der Auvergne ist die Oberfläche vieler Basaltberge förmlich verschlackt.

Von den noch jetzt thätigen Vulkanen unterscheidet man nach der Art ihrer Verbreitung wieder Central- und Reihenvulkane. Zu ersteren gehört die Gruppe des Aetna, Vesuv und der Liparischen Inseln, ferner die Vulkane Islands (Hekla), diejenigen der Canarischen Inseln. Sie sind um einen gemeinsamen Mittelpunkt gruppirt. Reihenvulkane finden wir in dem großen Gebirgszuge der Anden, welcher von Mexiko aus über Guatemala nach dem Feuerland auf der Westküste Amerikas hinläuft. Wir nennen von ihnen nur den Acongagua, Chungara, Antisana, Cotopaxi, Tolima und Jorullo. Auch die Insel Japan enthält Reihenvulkane.

c. Näheres über die vulkanischen Erscheinungen.

Der Ausbruch eines Vulkans ist gewöhnlich durch vorhergehende Erdbeben angedeutet, welche in einer wellenförmigen Erhebung und Senkung der Erdoberfläche bestehen und sich in den meisten Fällen weit über das von den Auswürflingen des Vulkans erreichbare Gebiet hinaus erstrecken. Die Erdbeben richten häufig bedeutende Zerstörungen an. (Erdbeben von Lissabon im Jahr 1755.)

Tritt ein wirklicher Ausbruch des Vulkans ein, so bemerken wir zuerst, daß aus dem Krater große Dampfmassen ausgestoßen werden, welche Steine u. s. w. mit sich emporschleudern. Dann erscheint eine Feuersäule, welche höchst wahrscheinlich von entzündeten brennbaren Gasen herrührt, hierauf folgt erst die glühende Lava. Während dieser Ereignisse durchzucken Blitze die Luft, auch fallen heftige Regengüsse. Die Lava fließt den Seitenflächen des Vulkans entlang und erkaltet erst nach längerer Zeit. Oft wird sie von ausgeschleuderter vulkanischer Asche (mineralischen Ursprungs) überdeckt.

Die wenigsten Vulkane sind fortwährend in Thätigkeit, oft vergehen von einem Ausbruch zum andern Hunderte von Jahren. Einige Vulkane werfen nicht Asche und Lava, sondern Schlamm und Wasser aus. Solche finden sich vorzüglich in Italien und Sicilien. Man nennt sie Salsen. Auch Kohlenwasserstoffgas, Stickgas, reines Wasserstoffgas, Schwefelwasserstoff werden von einigen Vulkanen entwickelt.

Die vulkanischen Eruptionen unterscheiden sich von den plutonischen nicht blos nach der Zeit ihrer Thätigkeit, sondern auch noch hauptsächlich dadurch, daß die plutonischen Ausbrüche aus einer und derselben Oeffnung nur einmal stattfanden, während die Eruptionen der eigentlichen Vulkane sich öfters wiederholen.

Ueber die Ursachen der vulkanischen Erscheinungen können wir nur Hypothesen aufstellen. Da, wie wir später sehen werden, die Wärme von der Erdoberfläche aus nach dem Mittelpunkt in solchem Maaße zunimmt, daß schon

in einer Tiefe von etwa 12 Meilen sämmtliche Metalle und auch diejenigen Körper, welche die Auswürflinge der Vulkane bilden, geschmolzen sein müssen, so werden wir darauf hingewiesen, die Lava ꝛc. als Fragmente des heißflüssigen Erdkerns anzunehmen. Die bedeutenden Quantitäten von Wasserdampf, welche bei jeder vulkanischen Eruption aus dem Kater aufsteigen, lassen uns vermuthen, daß die Erhebung der Lava u. s. w. durch die Expansion des Dampfes bewirkt wurde. Ob nun Wasserdampf einen Bestandtheil des Erdinnern ausmacht, oder ob der Dampf von Wasser herrührt, welches, etwa durch Spalten, aus dem Meere u. s. w. zum heißen Erdboden hinabsickerte, dies läßt sich bis jetzt noch nicht entscheiden. Für die letztere Annahme spricht indeß der Umstand, daß die meisten Vulkane nicht sehr weit vom Meere entfernt sind.

Fig. 42.

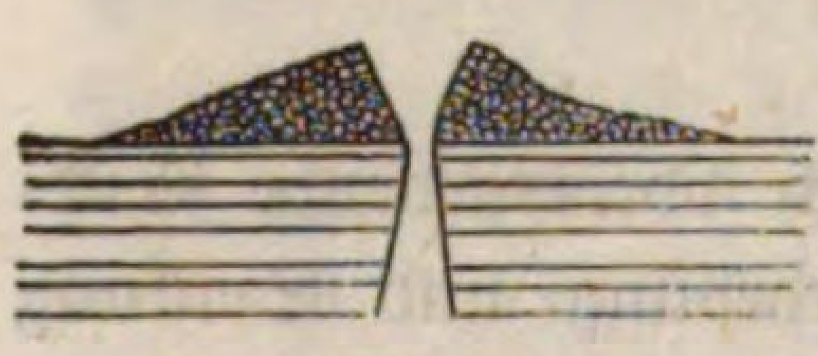
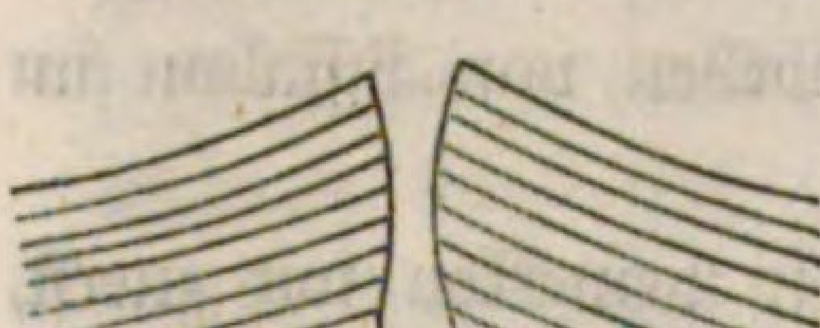


Fig. 43.



Der Kegel eines Kraters kann auf zweifache Weise entstanden sein, entweder durch Auffüllung der Auswürflinge (Aufschüttungskrater Fig. 42.) oder durch Erhebung des ursprünglich ebenen Bodens (Erhebungskrater Fig. 43.). Leop. v. Büch hat nachgewiesen, daß die Krater der größern Vulkane in den meisten Fällen der letzten Klasse angehören.

d. Bergformen.

Von der Gestaltung der Oberfläche im Gebiet der erloschenen Vulkane war bereits unter b die Rede. Die Gipfel der ausgebrannten und noch thätigen Vulkane sind meist kegelförmig, ähnlich denen des Basaltes. Oft ist ein solcher Kegel noch einmal mit einem Wall umgeben, gebildet durch Einsturz eines Theiles der Kraterwand. Bei den noch thätigen Vulkanen wird die Gestalt der Oberfläche des Kraterberges bei jedem Ausbruch durch Hebungen und Senkungen sowohl, als auch durch die Auswürflinge verändert.

5. Verhalten zu andern Gesteinen.

Vulkane durchsetzen alle bisher betrachteten neptunischen und plutonischen Bildungen und selbst die neuesten Formationen, sedimentärer Art, von welchen im folgenden Abschnitt die Rede sein wird.

Fünfter Abschnitt.

Die auf die Diluvialgruppe folgenden Veränderungen der Erdoberfläche, ausschließlich der vulkanischen Erscheinungen.

Gruppe des Alluviums.

Einleitung.

Nach der Ablagerung der bedeutenden Massen von Kies, Lehm, Löß, Thon, Sand, Geschieben, erratischen Blöcken, welche wir unter der Gruppe

des Diluviums betrachtet haben, war die Erdoberfläche fortwährend neuen Veränderungen ausgesetzt. Diese ziehen sich bis in die gegenwärtige Zeit hinein — mann nennt sie Alluvionen. Obgleich dieselben auf allen Theilen der Erdoberfläche sich bemerken lassen, so stehen sie doch in der Größe des Effects den Veränderungen, welche bei der Bildung der bisher betrachteten Formationen stattfanden, nach. Indessen sind sie für den Menschen von der allergrößten Wichtigkeit, denn durch sie wurde die Oberfläche der Erde in kulturfähigen Zustand gebracht und fähig gemacht, sich auf größere Strecken hin mit Gewächsen bebauen zu lassen. Es ist die Bildung des Acker- und Waldbodens, welche in der Periode des Alluviums vor sich ging.

Der Boden ist ein Product der Zerkleinerung der Gesteine. Dieselben sind im Laufe der Zeit in eine erdige, zerreibliche, formbare Masse zerfallen, in denen man häufig noch Fragmente des Muttergesteins findet.

Man nennt den Prozeß, in Folgen dessen die Felsarten in Boden verwandelt werden, die Verwitterung; die Kräfte, welche die Bodenbildung veranlassen, unterscheidet man in

a) mechanische oder physikalische,
b) chemische und
c) organische.

Erstes Kapitel.

Bodenbildung durch mechanische oder physikalische Kräfte.

Unter den physikalischen Kräften, welche bei der Zerkleinerung der Gesteine thätig waren und es noch sind, spielen die Wärme, die Schwere und der Stoß die vornehmlichste Rolle. Geringern Einfluß üben Electricität und Magnetismus aus.

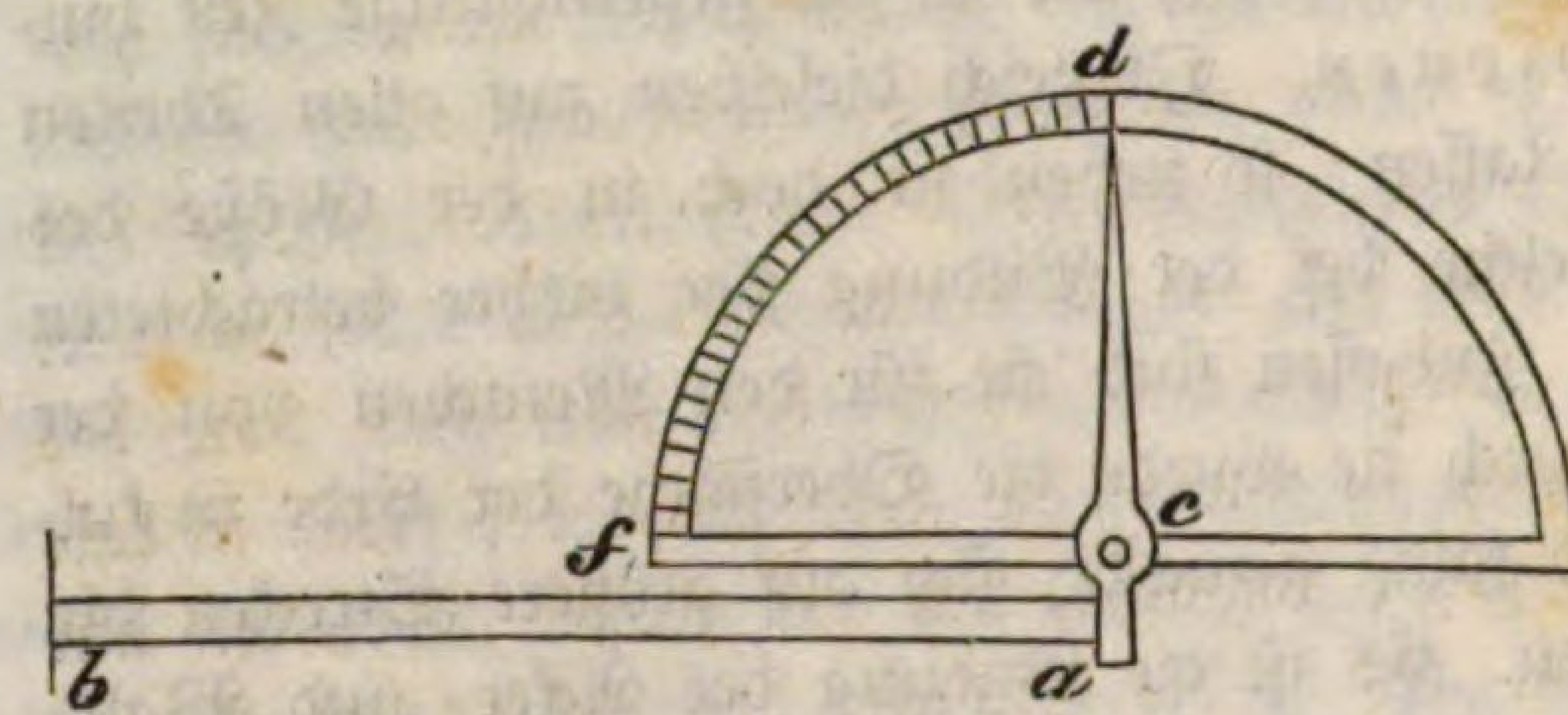
1 Wirkung der Wärme.

a. Die Wärme im Allgemeinen.

Sehen wir hier von den Versuchen, die Ursache der Wärme zu erklären, ab, und halten wir nur ihre Erscheinungen in so weit fest, als sie uns hier von Wichtigkeit sind. Es ist bekannt, daß die Körper, indem sie sich erwärmen, an Volumen (Rauminhalt) zunehmen und daß umgekehrt Wärmeentzug eine Volumsverminderung zur Folge hat.

Die Aenderung des Volumens unter dem Einfluß der Wärme ist für jeden Körper eine andere.

Fig. 44.



Um die Ausdehnung, welche die Körper unter dem Einfluß der Wärme erleiden, zu messen, kann man sich des Apparates (Fig. 44.) bedienen. Der Körper wird in Form einer Stange a b zwischen eine feste Widerlage b und den kürzern Arm ac eines Hebels gebracht, dessen längerer Arm c d ein um den Gradbogen d f beweglicher Zeiger ist. Wird der Körper a b erwärmt und dehnt er sich aus, so verschiebt er nur den Hebelsarm a und den Zeiger c d, weil ja die Widerlage b unverrückbar ist. An dem Gradbogen d f liest man das Maaß der stattgehabten Ausdehnung ab. Da die festen Körper sich verhältnißmäßig nur wenig durch Wärme ausdehnen lassen, so muß man den Zeiger c d recht groß nehmen, damit die Volumsvermehrung stärker in die Augen fällt.

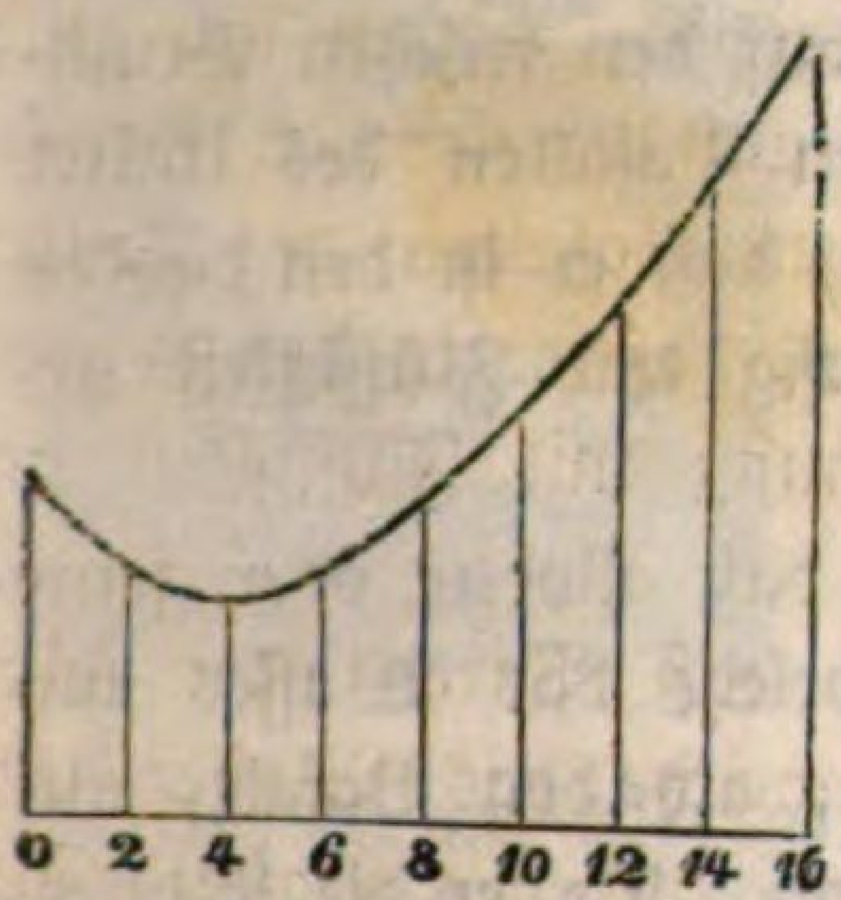
Nach der angegebenen Methode hat man gefunden, daß Glas von 0 bis 100° Cels. erwärmt, um $\frac{1}{1200}$ seines ursprünglichen Volumens sich ausdehnt. Bringt man also eine Glasstange die z. B. 1200 Zoll Länge bei der Temperatur von 0° besitzt, auf die Temperatur 100°, so hat sie nun eine Länge von 1201 Zollen. Die Gesteine dehnen sich bei weitem nicht so stark aus, wie die Metalle, so beträgt z. B. die Ausdehnung des Zinks zwischen 0 und 100° $\frac{1}{340}$, während die des Kalks (Mormors) nur $\frac{1}{1000}$ ist. Man nennt den Bruch, mit welchem man die ursprüngliche Länge eines Körpers multipliziren muß, um seine Vergrößerung für irgend eine Anzahl von Temperaturgraden zu erhalten, den Ausdehnungscoefficienten. $\frac{1}{1000}$ ist also der Ausdehnungscoefficient des Marmors für den Temperaturunterschied von 0 bis 100 Graden.

Wenn k den Ausdehnungscoefficienten eines Körpers blos nach einer Richtung, z. B. der Länge nach bezeichnet, so muß man diesen Coefficienten dreimal nehmen, wenn man die Ausdehnung des Körpers nach seinem ganzen Volum erhalten will. Denn es sei z. B. die Seite eines Würfels = s, so ist sein Volum s^3; bei der Ausdehung unter dem Einfluß der Wärme nimmt jede Seite und s. k zu; ihre ganze Länge ist demnach $= s + s k$ und das Volum $= (s\,[1 + k])^3 = s^3\,(1 + k)^3 = s^3\,(1 + 3k + 3k^2 + k^3)$. Da k eine sehr kleine Größe ist, so kann man die höhern Potenzen desselben gegen die niedern vernachlässigen; es bleibt also nur $s^3\,(1 + 3k) = s^3 + s^3 3k$ übrig, womit der vorhin ausgesprochene Satz erwiesen ist. Beträgt das Volumen eines Marmorwürfels 1 Kubikzoll bei der Temperatur von 0 Graden, und wird der Würfel auf 100 Grade erwärmt, so nimmt sein Volum um $1 . 3 . \frac{1}{1000} = \frac{3}{1000}$ Kubikzolle zu.

Nicht krystallisirte, gleichförmig dichte Körper dehnen sich nach allen Richtungen gleichmäßig aus. Anders ist dies bei solchen Krystallen, welche nicht dem regulären System angehören. Diese dehnen sich oft nach einer Axe hin stärker aus, während sie sich in der Richtung einer andern Axe sogar zusammenziehen. So dehnt sich der Kalkspath von 0—100° in der Richtung der Hauptaxe um 0, 00286 aus, während die Ausdehnung der darauf senkrechten Nebenaxen = 0,00056 ist. Die Veränderung des Winkels eines Kalkspathkrystalls kann dadurch bis auf 8⅓ Minuten ansteigen. Wenn man eine gewöhnliche Schwefelstange, wie sie im Handel vorkommt, in der Hand erwärmt, so vernimmt man ein deutliches Knistern; es rührt von der ungleichen Ausdehnung der Krystalle her, aus denen die Schwefelstange besteht. Aus der nämlichen Ursache brechen sehr häufig die Axen an Locomotiven ab. Das ursprünglich amorphe Eisen der Axen nimmt bei öfterem Fahren der Wagen in Folge der fortgesetzten zitternden Bewegung krystallinisches Gefüge an.

Das Wasser folgt von 4° Cels. an bis zum Siedepunkt den Gesetzen der Ausdehnung fester Körper; d. h. sein Volumen nimmt, wenn auch nicht ganz regelmäßig, zu, wenn es von 4° bis zum Siedepunkt (100°) erwärmt wird. Dagegen zieht es sich, wenn es unter 4° erkältet wird, nicht weiter zusammen, sondern dehnt sich von da an wieder aus. Das Wasser erreicht also bei 4° seine größte Dichte. Dieses ebenso merkwürdige, als wichtige Verhalten läßt sich sehr schön beobachten, wenn man ein thermometerähnliches Gefäß theilweise mit Wasser anfüllt und es den Temperaturen von 8 bis 0 Graden aussetzt. Von 8° bis 4° fällt das Wasser, von 4° bis 0° steigt es wieder in die Höhe. Die nebenanstehende Curve (Fig. 45.), in welcher die Abscissen die Temperaturen, die Ordinaten die denselben entsprechenden Wasserstände (sie sind umgekehrt proportional der Dichte) anzeigen, macht dieses Verhältniß graphisch anschaulich.

Fig. 45.



Bei einer Temperatur von 0° C. verwandelt sich das Wasser gemeiniglich in Eis; indessen hat man durch vorsichtiges Abkühlen das Wasser selbst bis zu 10° unter dem Gefrierpunkt flüssig erhalten. Eis von 0° nimmt einen 1,0526 mal größern Raum ein, als Wasser von gleicher Temperatur. Bei weiterer Erkältung unter 0° zieht das Eis sich zusammen, die Fälle ausgenommen, wenn es durch andauernde Einwirkung des Frostes krystallinisch wird, wie man dies beim Gletschereis und beim Flußeis beobachtet hat. Das specifische Gewicht des Eises beträgt nach Royer und Dumas 0,950; nach Osann 0,9268.

b. Einfluß der Wärme auf die Gesteine.

Aus den oben angegebenen Erscheinungen bei Temperaturveränderungen läßt sich entnehmen, welchen Einfluß die Wärme auf die Zerkleinerung der Gesteine äußert. Viele Felsarten bestehen nur aus Krystallen, wie Granit, Syenit u. s. w. und diese Krystalle gehören, da sie nicht aus denselben Mineralien gebildet sind, (z. B. Feldspath, Quarz, Glimmer im Granit) häufig verschiedenen Systemen an. Wir sahen so eben, daß die Krystalle sich nach jeder Axe ungleich ausdehnen, wenn ihre Temperatur sich ändert. Da diese Ausdehnung mit unwiderstehlicher Gewalt vor sich geht, so muß das Gestein bersten. In der That finden wir fast alle Felsarten mit feinen Rissen durchzogen. Auch mag ungleiche Erwärmung bei verschiedener Dichte in einem und demselben Gestein häufig Veranlassung zum Entstehen von Spalten und feinen Rissen gegeben haben und noch geben. Die meisten Gesteine sind schlechte Wärmeleiter, d. h. wird ein Theil von ihnen erwärmt, so pflanzt sich die Wärme auf die diesem zunächst liegenden Theile nur langsam fort. Der wärmere Theil sucht sich auszudehnen, der kältere leistet Widerstand, es erfolgt daher ein Bersten, gerade so, wie wir es wahrnehmen, wenn wir ein gewöhnliches Trinkglas auf den heißen Ofen stellen.

Bischof hat die Porosität der Gesteine durch mehrere sehr sinnreiche Versuche nachgewiesen. Er zerschlug einige Säulenbasalte vom Mendeberg bei Linz und bemerkte kleine Wassertröpfchen auf den Bruchflächen. Anfangs vermuthete er, es seien Regentropfen, überzeugte sich jedoch sogleich, daß dem nicht so sei, denn der Himmel war heiter und die Tropfen zeigten sich auch nicht auf den Außenflächen des Steins, sondern blos auf den frischen Bruchflächen. Nöggerath hatte dieselbe Beobachtung an den Basalten des Unkler Steinbruchs gemacht; ebenso erzählt uns Hundeshagen, daß er in den dichten Säulenbasalten des Calvariberges bei Fulda sehr häufig mit Flüssigkeit gefüllte Drusenräume gefunden habe.

Alle diese Erscheinungen deuteten darauf hin, daß Poren oder feine Spalten in den Basalten vorhanden waren, durch welche das Wasser eindrang. Bischof untersuchte nun auch andere Gesteine, als den Basalt, auf ihre Porosität. Dazu bediente er sich folgender Reaction. Da er die Bemerkung gemacht hatte, daß in den Drusenräumen immer atmosphärische Kohlensäure sich ansammle, so übergoß er die Gesteine, welche er auf ihre Porosität prüfen wollte, mit Salzsäure; ein Aufbrausen verrieth ihm die Gegenwart von Kohlensäure und somit auch von Poren. Natürlich kann dies Verfahren nur bei solchen Gesteinen angewandt werden, welche nicht schon in ihrer Zusammensetzung Kohlensäure enthalten.

Eine andere, von Bischof angegebene Methode, um die Porosität der Gesteine nachzuweisen, ist folgende. Er legt die Stücke in ein mit sehr verdünnter Schwefelsäure gefülltes Gefäß und bringt es unter die Luftpumpe. Die Luft wird hierdurch aus den Poren des Gesteins ausgetrieben; bei nach-

herigem Hinzuleiten dringt die durch den Luftdruck gepreßte Säure mit Gewalt in die Poren. Nun wäscht Bischof die Steine ab, trocknet und zerschlägt sie und prüft die Bruchflächen mit befeuchtetem Lakmuspapier *). Er hat so gefunden, daß die Trachyte des Siebengebirges bis auf 1—1½ Zoll Tiefe von der Säure durchdrungen wurden, also porös waren.

Suckow hat nach einem andern Verfahren den Sibirischen Schriftgranit und aus dem Granit von Karlsbad stammende Exemplare von Feldspath, welche außen noch ganz gesund und frisch erschienen, untersucht und auch in diesen feine Risse gefunden.

Wie wir in den vorigen Abschnitten gesehen haben, sind einige Gesteinsarten (z. B. Melaphyr, Basalt, Phonolith, Trachyt, Dolerit u. s. w.) mit Drusenräumen versehen, welche sich schon bei der uranfänglichen Bildung dieser Gesteine erzeugten. Außerdem besitzen die plutonischen und vulkanischen Felsarten Absonderungsklüfte, die sedimentären Gebilde dagegen Kluftflächen zwischen den Schichten.

Sowohl in die feinen Risse, als in die Absonderungs- und Schichtungsklüfte dringt das atmosphärische Wasser ein. Indem es gefriert, macht es die Gesteine bersten. Der Vorgang ist folgender.

Fig. 46.



Denken wir uns in irgend einem Gesteine (Fig. 46.) eine Höhlung a b c mit Wasser angefüllt. Wenn die Temperatur der Luft sinkt, so werden zuerst die äußern Lagen des Steins, die der Luft zunächst ausgesetzt sind, abgekühlt; das Wasser gefriert daher zuerst in dem Raum a b. Das hier gebildete Eis schließt das im Raum b c befindliche Wasser eben so gut, wie die steinerne Wand der Druse ab. Schreitet nun die Kälte nach dem Innern des Steins vor, so gefriert auch das Wasser in bc und dehnt sich dabei, wie wir wissen, 1.0526mal aus; wäre der Raum ab frei, so könnte die Ausdehnung nach dieser Richtung hin erfolgen; da ab aber geschlossen ist, so wird der Stein gesprengt. Gerade ebenso ist der Vorgang bei den feinen Ritzen und Spalten. (Springen der mit einem Stöpsel verschlossenen Glasflaschen in ungeheizten Zimmern im Winter.)

Der Effect, den die Eisbildung hinsichtlich der Zertrümmerung der Felsen hervorbringt, ist wirklich großartig. Nur bemerken wir ihn in den Gebirgen weniger, weil wir dort weniger darauf Acht geben. Anders ist es bei künstlich zugehauenen Steinen, die einen bestimmten Zweck erfüllen sollen (wie z. B. Grenzsteinen, Monumenten 2c.). Diese werden mehr controlirt. Wie viele Grenzsteine werden nun aber durch den Frost (Eisbildung) abge-

*) Dieses wird bekanntlich durch Säuren geröthet.

sprengt! In der Umgegend von Gießen, wo man zu Grenzsteinen, kleinen Säulen an den Banquets der Chausseen u. s. w. blasigen Basalt verwendet, wird in jedem Winter eine gar nicht unbedeutende Anzahl dieser Steine auf die angegebene Weise ruinirt.

Gerard erzählt uns, daß im Himalaja-Gebirge die Trennung des Gesteins in Folge von Eisbildung im großartigsten Maaßstabe stattfinde. Felsen von bedeutendem Umfange wurden losgesprengt, Grund und Boden der Pässe in welchen sich jene Felsen finden, waren mit ungeheuren Haufwerken solcher Trümmer bedeckt.

2. Wirkungen der Schwere.

a. Allgemeines über die Schwerkraft.

Die Schwere ist eine Kraft, welche die Körper nach dem Mittelpunkt der Erde hinzieht. Sie wirkt demnach im Sinne des verlängerten Erdhalbmessers. Die Fallrichtung eines in der Luft befindlichen Körpers ergibt sich, wenn man seinen Schwerpunkt mit dem Mittelpunkt der Erde durch eine Linie verbindet.

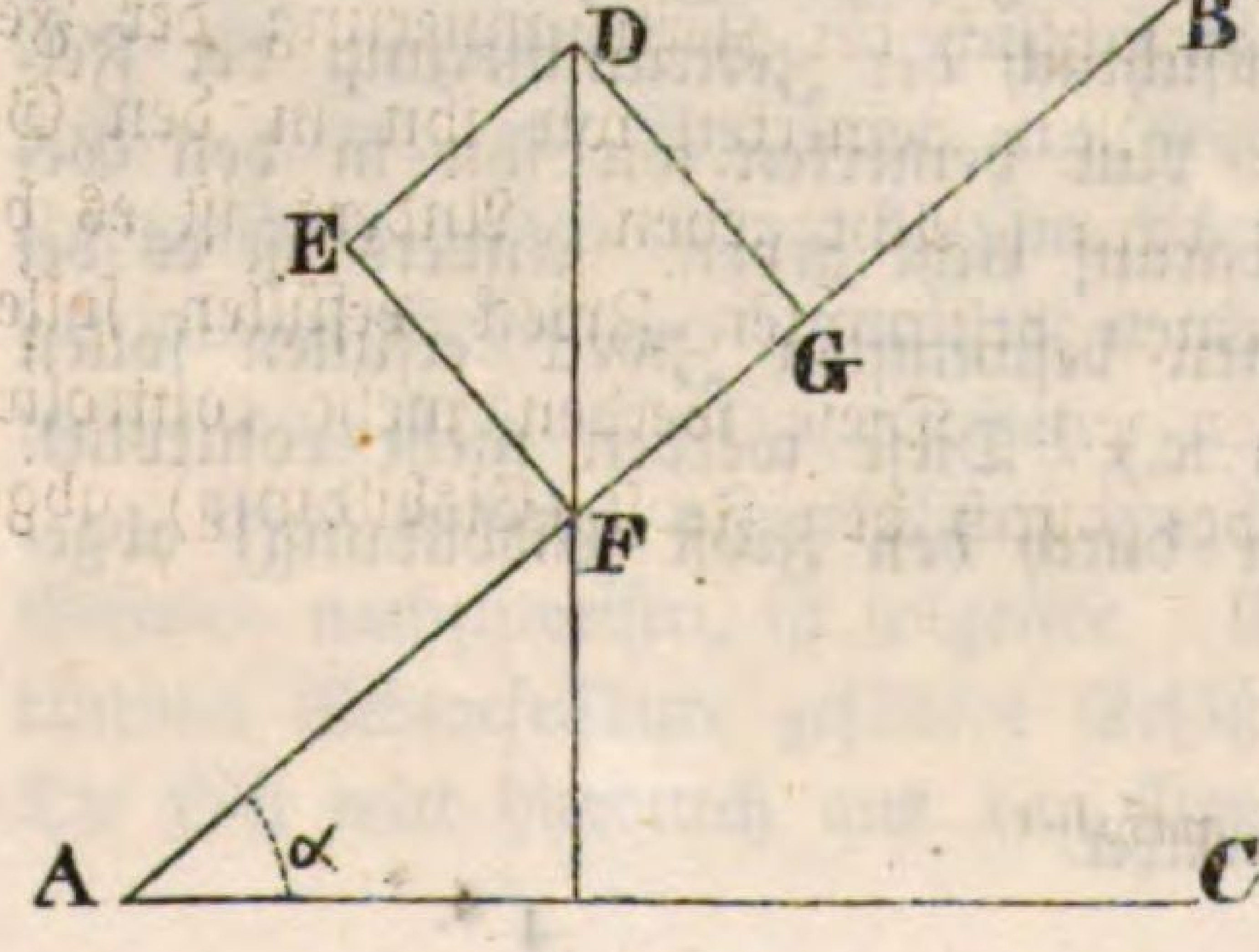
Die Richtung der Schwere ist auf die Oberfläche allenthalben senkrecht. Eine Ebene, welche mit dieser Senkrechten einen rechten Winkel bildet, heißt eine Horizontalebene.

Die Schwere ist eine continuirliche Kraft; d. h. sie wirkt in einem fort. Wenn deßhalb ein Körper aus einer gewissen Höhe abwärts fällt, so nimmt seine Geschwindigkeit immer zu.

Durch Versuche hat man gefunden, daß die Geschwindigkeit g, welche ein fallender Körper nach Verfluß von einer Sekunde annehmen und beibehalten würde, wenn von da an jede weitere Einwirkung der Schwere aufhörte $= 30$ Pariser Fußen ist. Wirkte aber die Schwere fort, so wird nach Ablauf der zweiten Secunde die erlangte Geschwindigkeit doppelt so groß, nach drei Secunden dreifach u. s. f., im Allgemeinen die Endgeschwindigkeit **v** nach Ablauf von T Sekunden Tmal so groß sein, also $v = gT$.

Es wird in der Physik bewiesen, daß die von einem fallenden Körper durchlaufenen Wege den Quadraten der Zeiten, innerhalb welcher das Fallen stattfand, proportional sind. Es ist der Weg $S = g\frac{T^2}{2}$, hieraus $T^2 = \frac{2S}{g}$, $T = \sqrt{\frac{2S}{g}}$

Fig. 47.



Befindet sich ein Körper auf einer schiefen Ebene A B, die mit der Horizontalen A C einen Winkel C A B $= \alpha$ bildet, (Fig. 47.), so wird er, wenn die Reibung es nicht verhindert, abwärts gleiten. Die Schwerkraft des Körpers, welche durch D F vorgestellt ist, wirkt senkrecht auf die Horizontale A C; zerlegen wir dieselbe in eine Kraft D E parallel und eine Kraft D G senkrecht zur schiefen Ebene, so wird erstere das Herab-

gleiten des Körpers nach A hin bewirken; da indessen diese Kraft nur ein Theil der gesammten Schwere des Körpers ist, so kann das Herabgleiten nicht mit derselben Geschwindigkeit, wie beim freien Fall erfolgen. Die senkrechte Kraft D G drückt den Körper auf der schiefen Ebene an; sie bewirkt die Reibung. E D wächst, D G nimmt ab, je größer der Neigungswinkel α wird. Ist die Neigung gering, so nimmt mit D G die Reibung zu und überwiegt dadurch das Bestreben der Kraft D E; der Körper kann nicht herabgleiten; er bleibt auf der schiefen Ebene liegen.

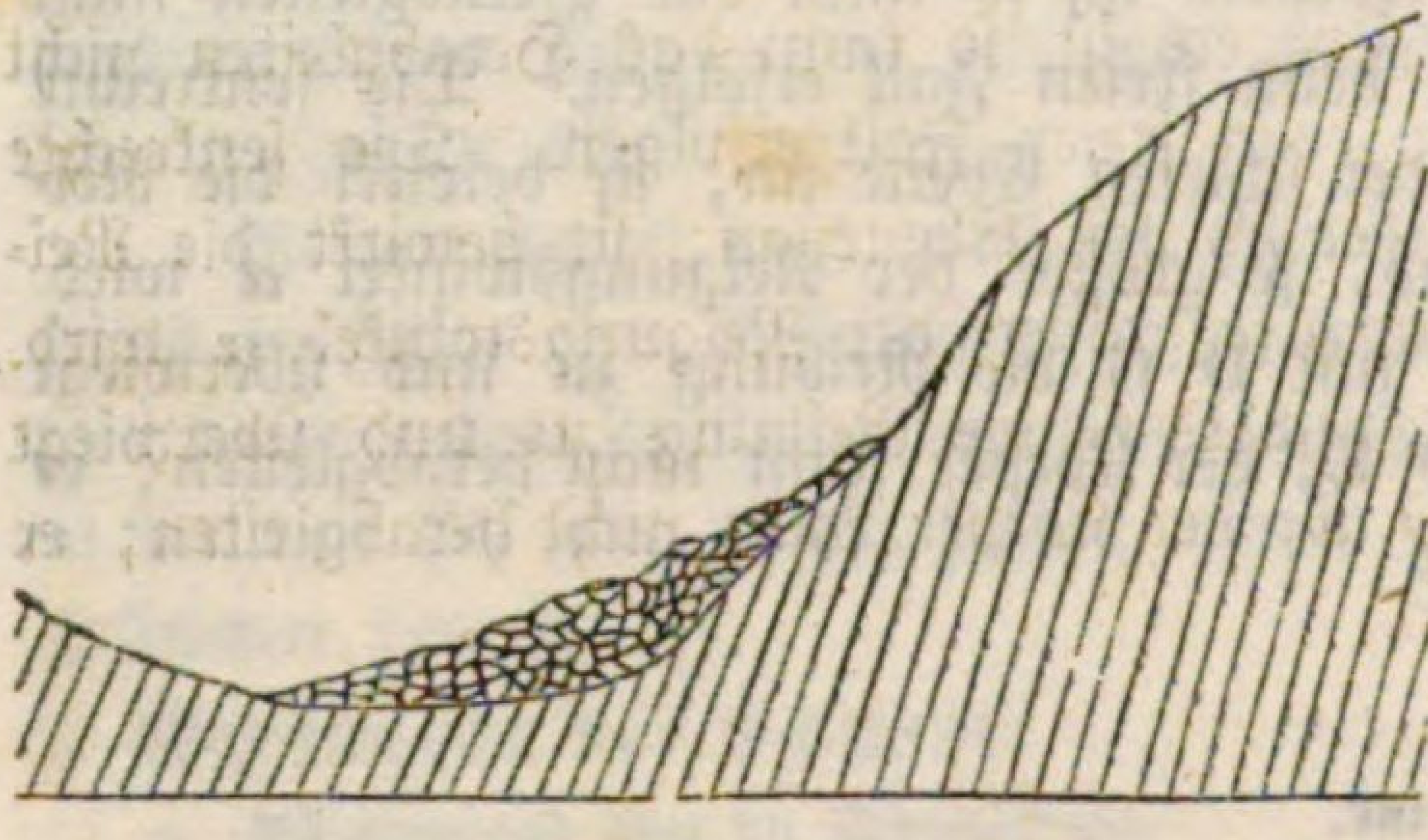
b. Einfluß der Schwere auf die Gesteine.

Wenn durch die Wirkung der wechselnden Temperatur, sowie durch chemische Kräfte, von denen im dritten Kapitel ausführlich die Rede sein wird, die Felsen in kleinere Trümmer zerfallen sind, so rollen diese, sobald sie nicht auf einer horizontalen oder doch einer von dieser wenig abweichenden Ebene befindlich sind, abwärts. An den Ueberhängen der Felsen stürzen die Gesteinsbrocken senkrecht in die Tiefe, an den Abhängen gleiten sie über das Gestein hin und zerbröckeln auch dieses noch durch die Reibung und den Stoß, mit welchem sie es treffen. Je weiter ein solcher Gesteinsbrocken abwärts rollt, eine um so größere Geschwindigkeit nimmt er unter den fortdauernden Einfluß der Schwere an; er kann dadurch selbst bei kleiner Masse eine bedeutende Bewegungsgröße erhalten und größere Steine im Abwärtsgleiten fortreißen und zerstückeln. Der Grus und Sand, welchen man am Fuße der Felsen, Hügel u. s. w. bemerkt, verdankt der Schwerkraft seine gegenwärtige Lagerstätte. Je abschüssiger und glätter die Seitenflächen solcher Felsen u. s. w. sind, um so weniger können die vom Felsen abgelösten Gesteinsfragmente sich auf ihnen erhalten, um so bedeutender sind auch die Anhäufungen am Fuße der Felsen.

Regen- und Quellwasser, welches von den Anhöhen in die Thäler sich ergießt, trägt gleichfalls zum Transport der Gesteinstrümmer wesentlich bei, und zwar sowohl durch den Stoß, den es auf dieselben, angeregt durch die Schwere, ausübt, als auch dadurch, daß es die Oberfläche glättet und somit die Reibung zwischen dem gleitenden Körper und der Unterlage vermindert. In letzterer Beziehung sind Eis und Schnee von noch größerer Bedeutung, als das flüssige Wasser.

Schuttkegel. Wenn auf der Höhe der Berge während des Winters bedeutende Schneeanhäufungen stattgefunden haben und diese im Frühjahr plötzlich schmolzen, so entstehen Gießbäche von mitunter sehr beträchtlicher Heftigkeit. Diese schieben mit großer Gewalt die Gesteinsbrocken, welche ihnen in

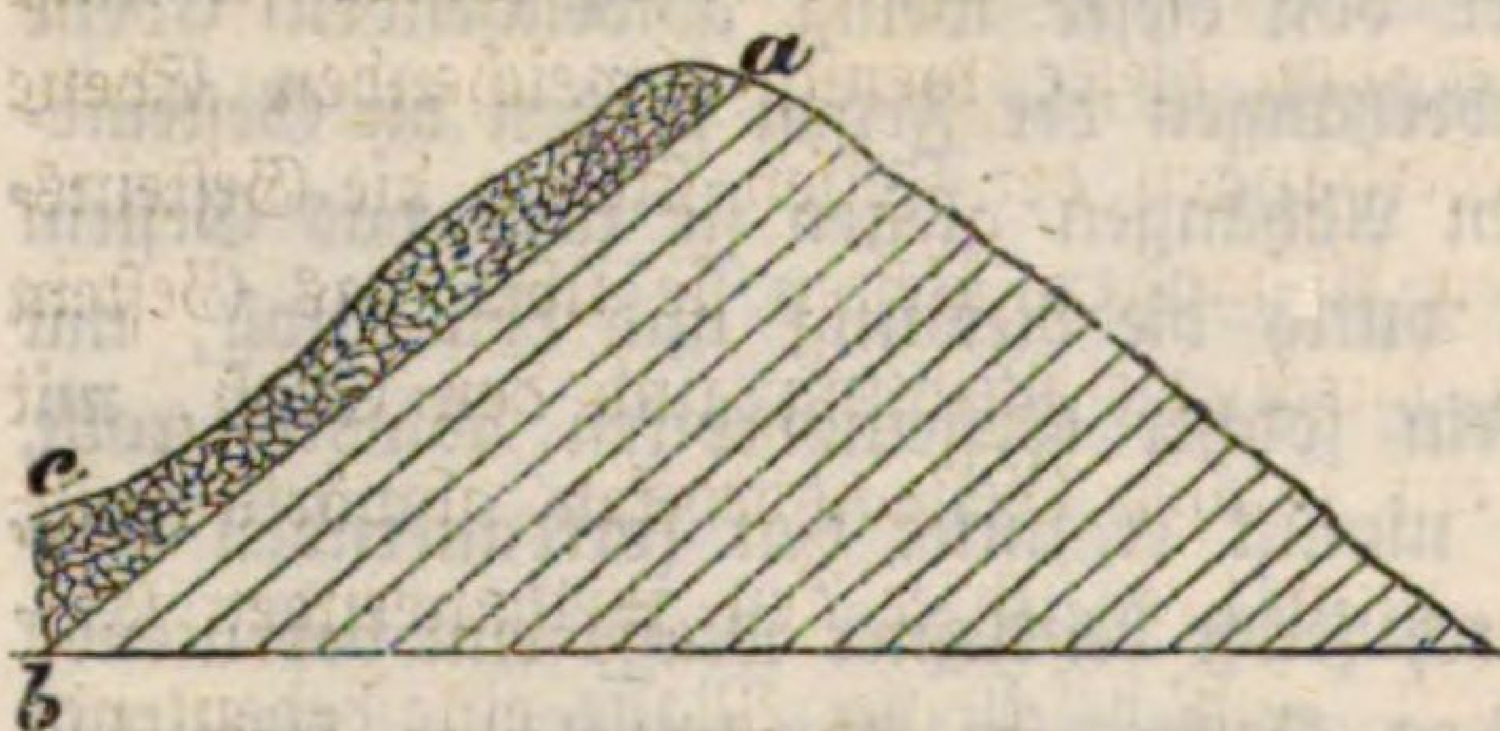
Fig. 48.



dem Weg stehen, abwärts, lassen dieselben aber im Thale am Fuß des Berges liegen. So bilden sich die Schuttkegel (Fig. 48.), welche man in fast allen Gebirgen, vorzüglich am Fuße von Hohlrissen, die den Wildbächen zum Bette dienen, findet. In der Schweiz, in Tyrol, im Jura kommen diese Schuttkegel besonders häufig vor.

Bergstürze. Wenn ein Hügel oder Berg aus Felsen besteht, so zerkleinert sich immer zuerst die Oberfläche desselben; nachher erst dringt die Verwitterung nach dem Innern vor. Denken wir uns die feste Masse eines Bergs mit Gerölle oder aufgeschwemmtem Land bedeckt, welches für Regen-, Schnee- oder Quellwasser durchdringlich ist. Die Oberfläche ab (Fig. 49.) des festen Gesteins wird in diesem Fall schlüpfrig gemacht werden und die aufgelagerte weichere Masse a c abwärts rutschen. Die nämliche Erscheinung tritt aber schon dann ein, wenn die Unterlage von undurchlassendem Thon gebildet wird. So entstehen die gefürchteten Bergstürze. Bekannt ist derjenige des Roßbergs, dem Rigi gegenüber; er fand am 2. Sept. 1806 statt, nachdem anhaltende Regengüsse den Boden vorher erweicht hatten. Die obern Bodenschichten des Roßbergs bestehen aus Nagelflue, welche das Wasser leicht durchsickern läßt, unter dieser befindet sich Mergelthon. Am 2. Sept. 1806 glitt die Nagelflue in einer Breite von 1000 Fußen und etwa 100 Fußen Höhe von dem erweichten und schlüpfrig gewordenen Thon ab. Die Masse wälzte sich auf die Dörfer Goldau, Bussingen und Hülloch und staute den Lowerzer See dermassen an, daß bedeutende Ueberschwemmungen erfolgten. Die Trümmer der Nagelflue bilden jetzt im Thal einen Hügel von 200 Fußen Höhe.

Fig. 49.



Einwirkungen der Flüsse auf ihr Bette und ihre Ufer. Zwischen dem Wasser eines Flusses und den Uferwänden findet beständig Reibung statt. Daher kommt es denn auch, daß das Wasser in der Mitte eines Flusses rascher sich bewegt, als an dem Ufer. Durch die Reibung werden fortwährend Theile des Ufers abgelöst und vom Wasser fortgeführt. Je stärker das Gefäll, je bedeutender die Wassermasse ist, um so mehr fallen die Veränderungen in's Auge, die durch Einwirkung der Flüsse auf ihre Ufer hervor-

gerufen werden. Die meisten deutschen Flüsse enthalten die größte Wassermenge zur Zeit der Frühjahrs- und Herbstregen; beim Rhein dagegen treten die

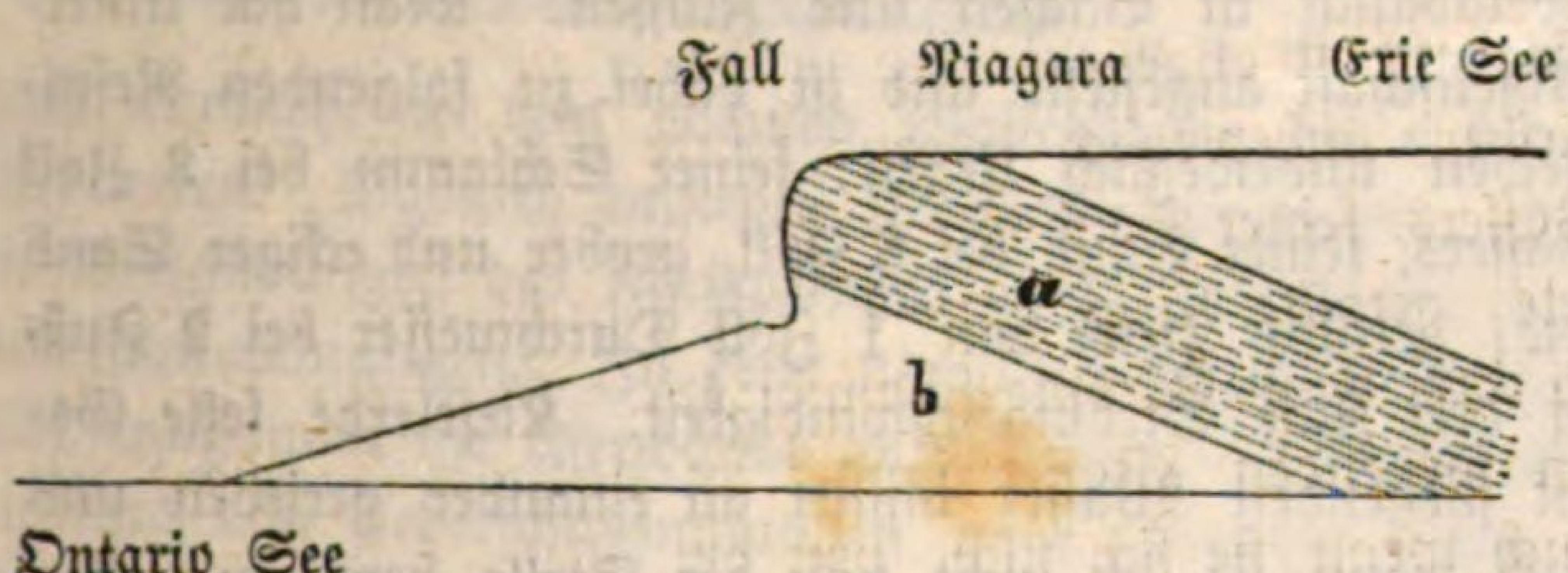
Fig. 50.



Ueberschwemmungen im Sommer ein wenn der Schnee in den Alpen, wo er entspringt, schmilzt. Macht das Bette eines Flusses eine starke Krümmung, so sucht der Fluß die Spitze des Winkels a (Fig. 50.), den die Uferwände bilden, abzustoßen; dadurch wird die Länge des Bettes verringert, zugleich aber auch der Fluß reißender gemacht, weil nun auch sein Gefälle zunimmt. Steine, Sand u. s. w., die sich in dem Flußbette befinden, werden durch die Gewalt des Wassers fortgewälzt. Stürzt ein Bach oder Fluß eine Anhöhe mit steilem Fall hinab, so höhlt er die Stelle, an welcher das Wasser aufschlägt, aus; das überhängende Gestein stürzt nach, nun finden wieder Aushöhlungen u. s. w. statt; so kommt es denn, daß viele Wasserfälle im Laufe der Zeiten rückwärts schreiten. Ein sehr eklatantes Beispiel von diesem Vorgange liefert uns das

Zurückschreiten der Fälle des Niagara. Eine der großartigsten Veränderungen, welche unter dem Einfluß der Schwere und des durch dieselbeher vorgerufenen Stoßes des Wassers noch gegenwärtig stattfindet, erblicken wir im Fortrücken der Niagarafälle. (Fig. 51.) Der Niagara bildet bekanntlich die Verbindung des Erie- mit den Ontario-See in Nordamerika.

Fig. 51.



Beide sind etwa 12 Stunden von einander entfernt; der Niveauunterschied beträgt 330 Fuße. Das Bett des Flusses besteht aus einer 70 Fuß dicken harten Kalksteinplatte a; unter dieser befinden sich weichere Schiefer des Silurischen Systems b. Der Fluß hat vom Eriesee aus bis zu den berühmtem Cataract nur wenig Fall; hier aber stürzt er sich aus einer Höhe von 150 Fußen in das Thal herab. Durch die ungeheure Gewalt des Wasserfalls wird der unter dem Kalkstein befindliche Schiefer zertrümmert und nach der Richtung des Ontario fortgeführt; der Wasserfall ergießt sich dann über die unterminirte Kalksteinplatte. Ist die Aushöhlung des Schiefers so weit vorgeschritten, daß die Platte das Gewicht des Stromes nicht mehr zu tragen vermag, so löst sie sich ab und stürzt in die Tiefe. So kommt es denn, daß die Wasserfälle immer mehr nach dem Eriesee hin rücken. Dieses Rückwärtsschreiten

soll jährlich gegen 4 Fuße betragen. Es wird erst dann aufhören, wenn nicht mehr der Schiefer, sondern der Kalkstein ganz allein die Basis des Flußbettes ausmacht.

Nach Ampére stürzen am Niagarafall in jeder Secunde 69000 Tonnen Wasser nieder. Die Wasserkraft kommt der Kraft von 4533344 Pferden gleich, ist etwa 19mal größer, als die gesammte Triebkraft, über welche Großbritannien verfügt, und mehr, als alle Fabriken, Mühlen u. s. w. der Welt treiben würde.

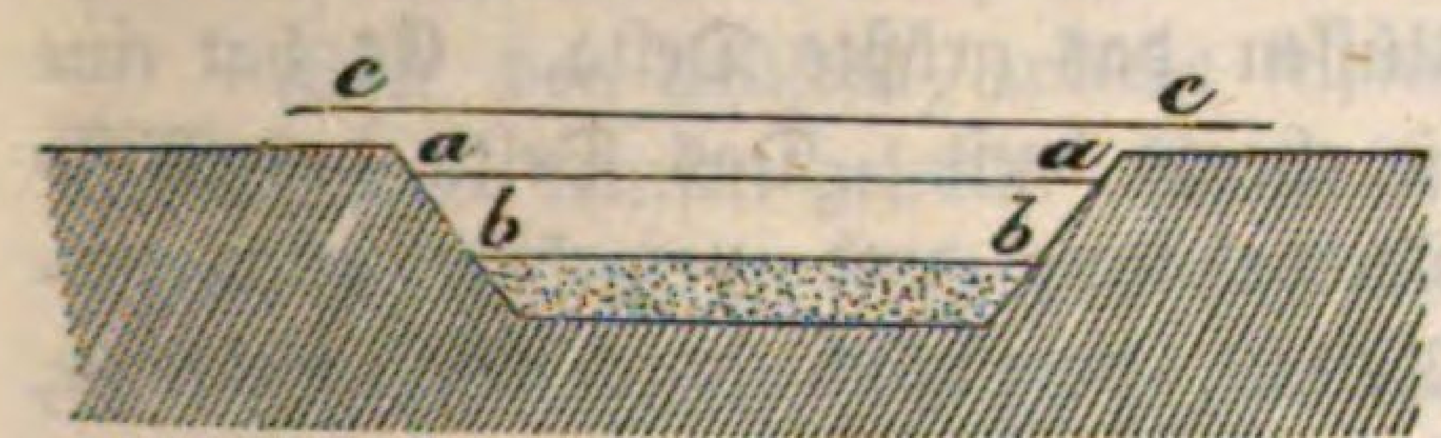
Mechanische Niederschläge der Flüsse. Die Flüsse entstehen aus Bächen, die ihrerseits wieder eine Quelle zum Ursprung haben. Auf dem Wege, den das Quellwasser durchwandern muß, um bis zu dem Flusse zu gelangen, beladet es sich mit feinen Erdtheilchen aus dem Bette oder den Uferwänden der Bäche. Treten starke Regengüsse ein und ist der Boden in dem Gebiete eines Flusses lehmig, so werden die Bäche getrübt. Das Regenwasser stürzt über das bebaute Land hin, schwemmt die Erde fort und führt sie in die Bäche, zuletzt auch in die Flüsse hinein. Feinere Theilchen von geringerem absolutem Gewicht werden vom Wasser getragen; sie bleiben in ihm suspendirt; größere, schwerere werden nur auf dem Bette des Flusses fortgewälzt oder fortgeschoben. Das specifische Gewicht der meisten Gesteine ist 2—3 mal größer, als das des Wassers; sie verlieren also etwas weniger, als die Hälfte ihres Gewichtes im Wasser Darin liegt die Ursache ihrer verhältnißmäßig leichten Transportabilität in Bächen und Flüssen. Man hat Untersuchungen über diese Eigenschaft angestellt und ist dabei zu folgenden Resultaten gelangt. Es bleiben unbeweglich liegen: feiner Schlamm bei 3 Zoll Geschwindigkeit des Wassers, feiner Sand bei 6 Zoll, grober und eckiger Sand bei 8 Zoll, abgerundete, gerollte Kiesel von 1 Zoll Durchmesser bei 2 Fuß, eckige eigroße Kiesel bei drei Fuß Stromgeschwindigkeit. Kieselerde feste Gesteinsbrocken werden im fließenden Wasser immer an einander gerieben und dadurch abgerundet, auch wenn sie sich nicht von der Stelle bewegen. Im Rhein vernimmt man beim Untertauchen ganz deutlich ein Knistern in Folge des Aneinanderschlagens der Kiesel. Davon rührt also die abgerundete Form der Bach- und Flußgeschiebe her.

Tritt ein mit getrübtem Wasser angefüllter Fluß über sein Ufer und kommt das Wasser zur Ruhe, so setzen sich die suspendirten Theilchen, welche nur durch die Bewegung des Wassers in der Schwebe erhalten wurden, ab. Sie überziehen dann das an die Flüsse ꝛc. angrenzende Gelände in Gestalt eines feinen Schlamms. Nach und nach wird das Erdreich dadurch erhöht; selbst tiefe Thäler füllen sich aus. Die ebene Fläche der Wiesen u. s. w., welche zwischen Bergen oder Hügeln eingeschlossen sind, ist auf solche Weise entstanden. Daß nicht gerade ungeheure Zeiträume dazu gehörten, um Ausfüllungen dieser Art zu bewerkstelligen, beweist folgende Beobachtung. Nahe an dem Flußbette der Lahn bei Gießen fertigte man vor einigen Jahren eine

Grube für das Fundament einer Eisenbahnbrücke. In etwa 10 Fuß Tiefe fand man zugehauene Pfähle, die offenbar von Menschen bearbeitet gewesen waren. Es hatten also die Absätze der Lahn im Laufe der geschichtlichen Zeit eine Erhöhung des Landes um mindestens 10 Fuße zu Stande gebracht. Uebrigens erfolgt der Absatz von suspendirten Erdtheilchen nur sehr allmählig. So kann man das Wasser der Rhone noch 6—7 engl. Meilen weit im Meere an seiner Färbung erkennen; der Chinesische Meerbusen wird in seiner ganzen Ausdehnung vom Gelben Fluß gefärbt; der Amazonenstrom läßt sich noch 300 engl. Meilen von seiner Mündung deutlich vom Meere unterscheiden. Der von den Flüssen abgesetzte Schlamm ist indessen nicht blos mineralischen, sondern auch organischen Ursprungs; abgerissene Theile von Vegetabilien werden ebenso vom Wasser fortgeführt, wie Erdpartikelchen u. s. w. Größere Ströme, wie der Amazonenstrom, Orinoco und Mississippi transportiren sogar große Baumstämme aus den Urwäldern Süd- und Nordamerikas.

Die Gerölle und Geschiebe, welche in die Flüsse hineingeführt werden und in denselben mit dem Eintritte jeder starken Fluth weiter wandern, erhöhen nach und nach das Flußbette.

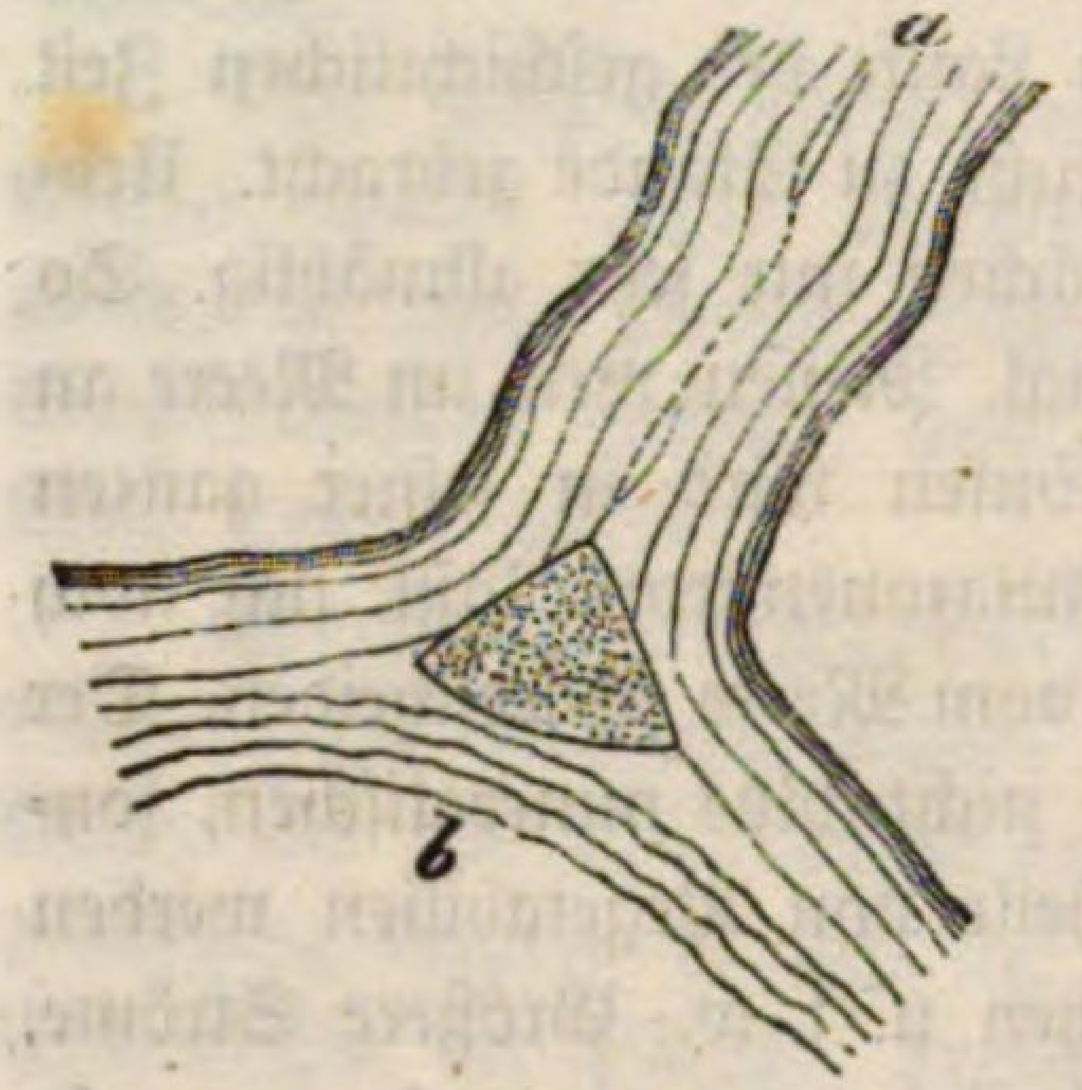
Fig. 52.



Bezeichnet (Fig. 52.) a die Linie des höchsten Wasserstandes vor der Versandung, so wird, wenn die Auffüllung des Flußbetts durch Geschiebe u. s. w. neuerdings bis b reicht, der Fluß nunmehr bei dem höchsten Wasserstande bis c steigen, d. h. über seine Ufer treten. Dadurch entstehen Ueberschwemmungen. Jedes Mittel, welches die Versandungen des Flußgrundes abhält, verringert zugleich die Gefahr der Ueberschwemmungen. In dem nämlichen Maße, als das Flußbette sich erhöht, muß man die Uferwände aufthürmen, damit die Wahrscheinlichkeit des Eintritts von Ueberschwemmungen nicht vermehrt werde. Durch fortgesetzte Versandungen und Uferbauten ist das Bett des Po über die Ebene der Lombardei zu liegen gekommen; die Stadt Ferrara befindet sich unter dem Wasserspiegel dieses Flusses. — Durchschneidet ein Fluß auf seinem Laufe einen See, so setzt er die größern Geschiebe ab. So dienen diese Seen dazu, um das Flußwasser zu klären und Versandungen auf längere Zeiträume hinauszuschieben. Freilich können die Seen den Fluß nicht mehr vor den Geröllen u. s. w. sichern, die er nach seinem Austritt aus dem See aufnimmt. Für den Rhein dient der Bodensee, für die Rhone der Genfersee, für die Aar der Brienzer- und Thuner See, für die Reuß der Vierwaldstättersee zum Absatz der festen Bestandtheile.

Deltabildung. Eine höchst merkwürdige Erscheinung, welche die meisten größeren Ströme und selbst auch kleinere Flüsse zeigen, sind die Delta's. Man versteht unter diesen Anhäufungen von Geschieben, Erde u. s. w. an der Mündung eines Flusses. Sie erfolgen immer in Gestalt eines Dreiecks, dessen

Fig. 53.



eine Spitze in die Mündung des Flusses hineinragt, und führen ihre Benennung von der Aehnlichkeit ihrer Form mit dem Griechischen Buchstaben Delta (Δ). Sie entstehen in folgender Weise. Wenn ein Fluß a (Fig. 53.) in das Meer b oder in einen See einmündet, so wird sein Wasser aufgestaut, es kommt in Ruhe; die im Wasser suspendirten Theilchen, welche nur durch die Bewegung im Schweben erhalten wurden, können sich jetzt absetzen. Hat das Meer zugleich Ebbe und Fluth, so wird das Wasser sogar in den Fluß zurückgetrieben. Diejenigen Flüsse, welche an ihrer Mündung kein ruhiges Meer finden, bilden auch, wie z. B. der Amazonenstrom, kein Delta. An der Mündung dieses Flusses geht die heftige Aquatorialströmung in der Richtung von Norden nach Süden vorbei, sie führt das Wasser des Amazonenstromes sogleich in das offene Meer.

Der Ganges besitzt von allen Flüssen das größte Delta. Es hat eine Länge von 320 Kilometern und ist fast ebenso breit. Das Delta des Missisippi hat eine nicht viel geringere Ausdehnung und vergrößert sich verhältnißmäßig am stärksten von allen Deltas, vorzüglich durch Baumstämme, die der Fluß aus den Urwaldungen Nordamerikas nach der Küste des Meeres hinführt; dieses Delta soll jährlich um 1000 Fuße voranschreiten. Ein großer Theil von Holland besteht nur aus dem Delta des Rheins, der nach einer Berechnung Horner's jährlich 53 Millionen Kubikfuß feste Masse (an Schlamm) transportirt. Das bekannteste Delta ist das des Nil. Es hat einen Flächenraum von 400 Quadratmeilen. Seine Spitze liegt bei Kairo. Der ine Arm des Nil mündet bei Rosette in einer Breite von 1800 Fußen, der andere Arm bei Damiette in 900 Fußen Breite in das Mittelländische Meer ein. Das zwischen diesen beiden Flußarmen befindliche Land ist von vielen Kanälen durchschnitten. Vor dem Delta, längs der Küste des Meeres hin, läuft ein Wall von kalkigem Sandstein. Anfangs Juli steigt das Wasser des Nil in Folge von heftigen Regengüssen, die in Oberegypten stattfinden; der höchste Wasserstand tritt gegen Ende September ein. Während dieser Zeit ist das ganze Delta überschwemmt. Der Fluß führt $\frac{1}{132}$ seines Volumens an Schlamm mit sich; dieser schlägt sich auf der Fläche des Delta nieder; dadurch hat sich dieselbe seit Anfang der christlichen Zeitrechnung um $6^1/_3$ Fuß erhöht. Auch das Delta des Po zeigt eine bedeutende Zunahme. Die Stadt Adria hatte in den Römerzeiten einen Hafen, jetzt liegt sie etwa neun Stunden vom Meere entfernt.

3. Wirkungen des Stoßes.

a. Im Allgemeinen.

Wenn eine Masse m, welche durch irgend eine Kraft die Geschwindigkeit c erhalten hat, gegen eine andere Masse M anstößt, so vertheilt sich die Geschwindigkeit c, die jedem Theilchen von m innewohnt, auf die beiden Massen $m + M$; es resultirt hieraus für die Gesammtmasse $m + M$ eine einzige Geschwindigkeit γ, welche sich, wie die Physik lehrt, durch den Ausdruck $\gamma = \frac{m\,c}{m + M}$ berechnet. Ist die die Masse M gegen die Masse m sehr groß, so wird der Werth des Bruches $\frac{m\,c}{m + M}$ sehr klein ausfallen, γ kann dadurch, wenn M groß genug ist $=$ Null werden; d. h. die in Bewegung begriffene Masse m kommt zur Ruhe. Setzt sich aber den beiden bewegten Massen ein Widerstand entgegen, der die Bewegung zwar nicht momentan aufhören macht, sie aber doch von Secunde zu Secunde verlangsamt, so kommen sie endlich ebenfalls zur Ruhe. Die Reibung, die sich immer erzeugt, wenn die Oberflächen zweier Körper auf einander hingleiten, wirkt in dieser Weise; sie ist es, welche die Bewegung der Körper auf unserer Erde nach und nach zum Verschwinden bringt.

Von den Kräften, welche Bewegungen verursachen, haben wir bereits die Schwere kennen gelernt. Auch der Einfluß der Wärme setzt sehr häufig Materien, insbes. die Luft und das Wasser in Bewegung. Die Winde sind in den meisten Fällen eine Folge der ungleichen Erwärmung zweier Luftschichten, wie wir später ausführlich nachweisen werden. Auch die Meeresströmungen, von denen ebenfalls demnächst noch einmal die Rede sein wird, werden durch die locale Erwärmung des Meerwassers hervorgerufen.

Eine constante Bewegung besitzt das Meerwasser in der Ebbe und Fluth. Diese verdankt hauptsächlich der Anziehungs- (Schwer-) Kraft des Mondes gegen unsere Erde ihre Entstehung. Der Mond zieht das Wasser des Meeres hinter sich her. Sechs Stunden lang entfernt sich das Wasser von den Küsten, das ist die Ebbe, hierauf steigt es wieder sechs Stunden lang, und dieses Anwachsen nennt man die Fluth.

Die Winde und Stürme setzen das Meer ebenfalls in Bewegung; sie wühlen es auf, erzeugen Wellen, deren Höhe bis 8 Fuße betragen kann, und wälzen die Wogen gegen die Küsten, wodurch Brandungen entstehen, wenn ein steiles Ufer das Andringen des Wassers hindert.

b. Einwirkung des Stoßes auf die Gesteine.

Unterhöhlung und Abflachung der Meeresküsten. Das entweder durch Winde und Stürme, oder durch die Fluth in Bewegung gesetzte Meer reibt beständig an den Küsten. Bestehen letztere aus Felsen von weicher Beschaffenheit (z. B. Kreide, Sandstein, Schiefer) so werden sie unterhöhlt, es bildet sich ein Ueberhang und zuletzt stürzt ein Theil des Felsen in das Meer. Sind die Küsten weniger hoch, so daß die Welle über sie hinaus-

schlagen kann, so verschafft ihnen die Fluth nach und nach eine geringere Neigung; sie flacht, mit einem Worte, die Küsten ab. Dabei werden die Geschiebe, welche auf dem Sande liegen, durch die Fluth hinauf-, durch die Ebbe heruntergewälzt, an einander gerieben und zerkleinert. Ein eigenthümliches Geräusch, welches man an Küsten dieser Art in einem fort vernimmt, rührt von dem Aneinderschlagen der Strandgeschiebe her, es deutet uns an, wie rasch die Zerkleinerung dieser Gesteinsbrocken vor sich gehen muß.

Uferwälle, Lagunen. Besteht der Meeresboden aus Sand, Kies oder Gerölle, so werden diese Materialien sowohl durch die Fluth, als auch durch Stürme auf die Küste geschleudert. Die gröbern und schwereren Gerölle dringen am weitesten landeinwärts, und bilden Hügel, Uferwälle, der feinere, leichtere Sand bildet die Abflachung dieser Hügel nach dem Meere hin. Oft werden die Auswürflinge des Meeres verkittet (gewöhnlich durch Kalk), sie formiren dann einen festen Damm, der den Zerstörungen der Meereswogen mit Hartnäckigkeit widersteht. Nicht selten hat das Land hinter dem Uferwall eine Vertiefung, die mit Wasser angefüllt ist, diese Wasserbehälter nennt man Lagunen. (Fig. 54.) Fast an allen Meeresküsten finden sich sowohl die Uferwälle, als auch die Lagunen. Die *frische Nehrung* und die *Kurische Nehrung* in der Ostsee sind Uferwälle im großartigsten Maßstabe; die hinter ihnen befindlichen Lagunen führen die Benennung: *Haffe.*

Fig. 54.



Dünenbildung. Von den Uferwällen sind die Dünen wohl zu unterscheiden. Erstere entstehen vorzugsweise durch die Wirkung der Wellen, letztere durch die Bewegung und den Stoß des Windes, obgleich der Dünenbildung immer die Formation eines Uferwalles vorausgeht. Unter den Dünen versteht man Hügel von feinem Sand, welche längs der Meeresküste und oft in mehreren Reihen hintereinander hinziehen. (Fig. 55.) Der Wind treibt den Sand immer weiter landeinwärts, wenn er nicht durch Gewächse u. s. w. befestigt wird, es verschwinden dadurch die Dünenhügel an manchen Stellen, während andere in weiterer Entfernung vom Meere aufgebaut werden. Zur Dünenbildung darf der Sand nicht zu schwer sein, damit ihn der Wind noch fortführen kann. 100 der größten Sandkörner, an der Dänischen Küste gesammelt, wogen 666—2600 Milligramme. Die Abflachung der Dünen nach dem Meere hin beträgt

Fig. 55.



gewöhnlich 5° — 10°; landeinwärts fallen die Dünen viel steiler ab; die Böschung beträgt hier fast constant 30°, höchstens 40°. Die Höhe der Dünen richtet sich nach der Stärke des Windes und der Größe der Sandkörner; sie wechselt von 20 bis zu 100 Fußen; in einzelnen Fällen steigt sie selbst bis zu 300 Fußen an. An manchen Orten ist das Vorrücken der Dünen nach dem Innern des Landes sehr bedeutend; an der Küste von Frankreich bei dem Gaskogner Meerbusen beträgt es 60 — 72 Fuße im Laufe eines Jahres. Große Strecken bebauten Landes, selbst ganze Dörfer sind schon durch die Dünen überschüttet worden. „Mimisan, ein Dorf im Departement des Landes, erzählt Cuvier, kämpft seit 20 Jahren gegen die Dünen; und einen mehr als sechzig Fuß hohen Sandhügel sieht man gleichsam vorrücken. Im Jahre 1802 verbreiteten sich die Seen hinter den Dünen über fünf schöne Landgüter, die zu St. Julien gehörten, sie haben seit der Zeit eine Römische Heerstraße bedeckt, welche von Bordeaux nach Bayonne führte und welche man noch vor ungefähr vierzig Jahren sah, wenn die Wasser niedrig waren. Der Adour, der einst bei Vieux Boucaut floß und am Cap Breton in's Meer fiel, hat seinen Lauf um mehr, als tausend Toisen verändert.“ Die Dünen in der Nähe von Saint-Pol-de-Leon in der Betragne haben seit dem Jahre 1666 einen Weg von sechs Stunden zurückgelegt und den ganzen Küstenstrich mit einem Sandmeere bedeckt, aus dem nur noch die Spitzen einiger Kirchthürme und Kamine hervorragen. Elie de Beaumont.

Flugsand im Innern des Landes. Die Oberfläche vieler Länder besteht aus Lagen von Sand, der häufig dem Meere seinen Ursprung verdankt. So kann die große Norddeutsche Ebene, die Lombardei, die Westküste von Frankreich (zum Theil) als der Boden eines nun nicht mehr vorhandenen Meeres angesehen werden. Sind solche Sandgegenden den Winden ausgesetzt, so verändern letztere beständig die Gestaltung der Oberfläche, wenn der Sand nicht mit Gewächsen bekleidet ist, die ihm durch ihre Wurzeln u. s. w. eine größere Consistenz verleihen. Der Sand wird von einem Orte zum andern verweht und überdeckt, ebenso wie der Dünensand, auch solche Länderstrecken, welche ursprünglich keine Sandlager enthielten. Gewöhnlich geht die Versandung von den sogenannten Sandkehlen aus. Diese sind Hügel, deren Höhe bis zu 20 Fußen betragen kann.

Zweites Kapitel

Bodenbildung durch organische Kräfte.

Die Organismen, welche entweder eine Neugestaltung der Erdoberfläche, oder auch eine Veränderung der bisherigen Gestalt derselben hervorrufen, stammen sowohl aus dem Thier- als auch aus dem Pflanzenreiche.

1. Bodenbildung durch Thiere

Obgleich die Leiber aller verendeten und verwesten Thiere in so fern auf die Gestaltung der Oberfläche des Bodens einen Einfluß äußern, als die Mi-

neralbestandtheile der Leichname diese Oberfläche erhöhen, so sind es doch nur wenige Animalien, welche in auffallender Weise zur Bodenbildung beitragen. Von besonderer Wichtigkeit sind:

a. **Die Infusorien.**

Diese sind mikroscopisch kleine Wesen und stehen auf einer sehr niedern Stufe der Entwickelung. Sie leben sowohl in süßem, als auch in gesalzenem Wasser und kommen unter den verschiedenartigsten klimatischen Verhältnissen, bei der größten Hitze und Kälte, ja selbst im Eise noch fort. Ihre Vermehrung, die bei einigen Arten durch bloße Theilung stattfindet, ist eine ungeheure. Für uns haben nur diejenigen Infusorien Interesse, deren (gallertartiger) Körper mit einem Panzer aus Kieselerde umgeben ist, wie die Bacillarien mit den Arten: Galionella, Navicula, Bacillaria, Xanthidium, von ihnen sollen 41000 Millionen erst den Raum eines Kubikzolles füllen. Nach dem Tode dieser Thierchen bleiben die Kieselpanzer zurück; es bilden dieselben mitunter sehr beträchtliche Anhäufungen. So soll nach Ehrenberg ein großer Theil der Stadt Berlin und auch Potsdam blos auf die Reste von Infusorien gebaut sein. In der Lüneburger Haide fand man ein 250 Schritt langes, 150 Schritt breites und bei 20—28 Fuß Tiefe noch nicht durchsunkenes Lager von feinem Sand, der sich als ein Aggregat von Infusorienresten herausstellte. Neuere Untersuchungen haben ergeben, daß der Trippel, Polirschiefer, die Kieselguhr, manche Feuersteine u. s. w. blos aus Infusorienpanzern bestehen. Dies gilt auch von der gemeinen Kreide. Aller Schlamm von Teichen, Gräben u. s. w. enthält Infusorien in großer Menge.

b. **Die Korallen.**

Die Korallen gehören zu der Klasse der Zoophyten. Einige Arten, auf die wir hier allein Rücksicht nehmen, wie Millepora, Astraea, haben in ihrem Innern eine steinige Masse, welche vorzugsweise aus kohlensaurem Kalk besteht. Diese Thiere leben im Meere; sie heften sich entweder an einem Felsen der Küste oder an den Boden des Meeres an und bauen von da aus nach der Oberfläche des Wassers hin. Das Vorkommen der Korallen ist fast nur auf die heiße Zone beschränkt, über den dreißigsten Grad der Breite gehen sie nicht hinaus. Die Korallen leben nicht in sehr tiefem Wasser; 30 Fuße scheinen die größte Tiefe zu sein, in welcher sie noch gedeihen. Sie verlangen durchaus bewegtes Wasser. Die Korallen leben gesellig in großer Anzahl, die steinernen Massen, welche sie hinterlassen, bilden die sogenannten *Korallenriffe*. Diese besitzen verschiedenartige Gestalten. Sind sie oval oder rund und schließen sie in ihrem Innern Meer ein, so nennt man sie *Atolls* oder *Lagunenriffe*, befindet sich in der Mitte eine Insel oder Inselgruppe, so heißen sie *Dammriffe*, ziehen sie parallel mit den Küsten, so werden sie *Küstenriffe* genannt. — Die Korallen bewirken oft die Entstehung von Inseln. Wenn sie nämlich eine gewisse Meeresstrecke abgegrenzt haben, und letztere von Sand,

Muscheln u. s. w. durch die Meereswogen ausgefüllt wird, so bildet sich zuletzt ein fester Grund, auf welchem Gewächse, deren Samen durch das Meer oder den Wind dahin geführt werden, wurzeln können. Auf diese Weise sind viele Inseln in der Südsee entstanden.

Wahrscheinlich bestehen viele Kalke früherer geologischer Perioden (so z. B. der Stringocephalenkalk im Devonischen System) nur aus Korallenästen, die später durch Infiltration von kalkhaltigem Wasser verkittet wurden.

2. Bodenbildung durch Pflanzen.

Welch' bedeutenden Einfluß die Vegetabilien auf die Erhöhung der festen Erdrinde in frühern geologischen Perioden äußerten, haben wir bei der Steinkohlen- und Braunkohlenformation gesehen. Allein noch gegenwärtig tragen die Pflanzen, vor Allem die Waldbäume, sehr zur Bodengestaltung bei. Von den Feldcrescentien gilt dies weniger, weil der Landwirth den größten Theil der jährlichen Production erndtet und vom Felde hinwegnimmt. In den Waldungen bleibt dagegen entweder die ganze Quantität des jährlich abfallenden Laubes und des dünnen Reisiges, oder doch ein Theil davon liegen.

Die Veränderungen, welche in den abgestorbenen Theilen der Vegetabilien vor sich gehen, sind verschieden, je nachdem die atmosphärische Luft mit ihrem Sauerstoff Zutritt hat, oder mehr oder weniger abgeschlossen ist.

A. Verwesung der Pflanzen bei vollständigem Luftzutritt.

a. Bestandtheile der Pflanzen.

Das Holz, die Blätter, Nadeln, die Rinde u. s. w. enthalten neben Wasser und Luft stickstofffreie, stickstoffhaltige Verbindungen und anorganische Stoffe (die sogenannten Aschenbestandtheile); die eigentliche Holzfaser besteht bei reifem Holze aus der sogenannten Cellulose, diese ist stickstofffrei, und der inkrustirenden Materie oder dem Lignin, welches geringe Mengen von Stickstoff enthält. Im Saft kommen gleichfalls stickstoffhaltige Substanzen (vornehmlich Albumin, Fibrin, Casein) vor. Nach Gay-Lussac drückt sich die Zusammensetzung des Eichenholzes durch die Formel

$$C_{36} H_{22} O_{22}$$

aus, in welcher übrigens keine Rücksicht auf den Stickstoff genommen ist, welcher nach Chevandier im Durchschnitt ein Gewichtsprozent des Holzes ausmacht.

b. Die Bedingungen der Verwesung

sind Sauerstoff (der gewöhnlich, wenn auch nicht immer, von der atmosphärischen Luft genommen wird), Feuchtigkeit und Wärme. Ueber das zur Verwesung nöthige Temperaturminimum liegt nur die Beobachtung Boussingaults vor, welcher dasselbe nach mehrern Versuchen auf 9—10° feststellen zu können glaubt. Die Angabe anderer Schriftsteller, wie z. B. von Bronn, nach welchem die Temperaturgrenzen für den Verwesungsprozeß zwischen 5° und 30° liegen, beruhen nur auf Muthmaßungen, aber nicht auf wirklichen Beobachtungen. Wahrscheinlich ist es aber, daß bei oder unter der Kälte des Gefrier-

punktes die Verwesung aufhört. Hohe Temperaturen wirken ebenfalls der Verwesung entgegen, weil bei ihnen das in den Pflanzen befindliche Wasser verflüchtigt wird. Aber auch bei Gegenwart einer hinreichenden (sich stets erneuernden) Menge von Feuchtigkeit wird der Verwesungsprozeß immer durch den Eintritt des Siedepunktes unterbrochen.

c. **Die Verwesung des Holzes beginnt mit einer Zersetzung des stickstoffhaltigen Bestandtheiles.**

Die organische Chemie lehrt, daß stickstoffhaltige Körper viel leichter in ihre Elementarbestandtheile zerfallen,. als stickstofffreie, wovon wahrscheinlich die complizirtere Zusammensetzung ersterer die Ursache ist. Man hat sogar Gründe für die Annahme, daß die stickstofffreie Substanz des Holzes für sich allein gar nicht der Verwesung fähig sei. Alle Holzconservationsmethoden, welche die Zersetzung des stickstoffhaltigen Körpers im Holze aufheben, machen auch den stickstofffreien unverweslich. Beim Auslaugen und Flößen des Holzes wird die stickstoffhaltige Substanz zum großen Theil entfernt, deßwegen dauert geflößtes Holz länger als ungeflößtes. — Ein Beispiel von der Wirkung stickstoffhaltiger Substanzen auf stickstofffreie liefert das Stärkemehl, wenn man es mit Kleber (dem stickstoffhaltigen Bestandtheil der Getreidesamen) behandelt. Das gewöhnliche Stärkemehl enthält nur eine geringe Beimengung von stickstoffhaltigen organischen Körpern. Wenn man es mit Wasser zu einem Kleister kocht und sich selbst überläßt, so verwandelt es sich in einigen Wochen unter Entwicklung von Kohlensäure und Wasserstoffgas in Krümelzucker; aber in Berührung mit Kleber und bei einer Temperatur von 60° geht das Stärkemehl schon in acht Stunden in Krümelzucker über.

d. **Vorgänge bei der Zersetzung der stickstoffhaltigen Bestandtheile im Holze.**

Wenn bei Gegenwart von Feuchtigkeit und Wärme die stickstoffhaltige Substanz des Holzes von dem Sauerstoff in Angriff genommen wird, so entwickelt sich Kohlensäure und Wasser. Der Stickstoff selbst kommt gleichzeitig in Freiheit. Er tritt entweder unverbunden als Gas aus; dieser Fall ereignet sich vorzüglich im Sonnenlichte und bei Abwesenheit von Salzbasen — oder er vereinigt sich mit dem Wasserstoff der organischen Substanz und bildet mit derselben Ammoniak. Der letztgenannte Prozeß ist der am häufigsten vorkommende. Sind aber starke Basen in hinreichender Menge zugegen, wie Kali, Natron, Kalk, Bittererde u. s. w., so prädisponiren diese das Ammoniak zur Bildung von Salpetersäure, welche sich mit den Basen vereinigt. Häufig geht auch das Ammoniak in Salpetersäure über, ohne daß Mineralbasen vorhanden wären; in diesem Falle wirkt es selbst als Base und vereinigt sich mit der erzeugten Säure.

Der Phosphor und Schwefel der stickstoffhaltigen Substanz verwandelt sich in Phosphorwasserstoffgas und in Schwefelwasserstoffgas.

e. **Die Zersetzung der stickstoffhaltigen Substanz überträgt sich auf die stickstofffreien Bestandtheile des Holzes.**

Indem der stickstoffhaltige Körper des Holzes der Wirkung des Sauer-

stoffs anheimfällt und aus ihm neue Producte (Kohlensäure, Wasser, Ammoniak u. s. w.) sich entwickeln, wird seine Zusammensetzung aufgehoben. Die Bewegung der Atome überträgt sich auf die Atome des stickstofffreien Bestandtheils. Dadurch werden diese befähigt, theils unter sich, theils auch mit dem Sauerstoff der Luft oder anderer sauerstoffhaltiger Körper Verbindungen einzugehen.

f. Vorgang bei der Zersetzung der stickstofffreien Substanzen im Holze.

Da das feste Holzgerippe bei Weitem zum größten Theile stickstofffrei ist, so haben wir es hier recht eigentlich mit der Zersetzung des Holzes zu thun.

Nehmen wir vorerst an, die Verwesung werde bewirkt durch den Sauerstoff der Luft.

Da der Wasserstoff im Holze eine viel größere Verwandtschaft zum Sauerstoff der Luft, als der Kohlenstoff des Holzes besitzt, so ist es wohl nicht wahrscheinlich, daß der Sauerstoff der Luft direct mit dem Kohlenstoff des Holzes sich verbinde; es tritt vielmehr sicherlich der Sauerstoff der Luft zuerst an den Wasserstoff des Holzes, um mit diesem Wasser zu bilden.

Indem nun ein Theil des Wasserstoffs aus dem Holze hinweggenommen wird, erleidet die Zusammensetzung des letztern eine merkliche Veränderung. War nämlich vorher der Sauerstoff und Wasserstoff im Holze im Verhältniß zur Wasserbildung vorhanden, so erscheint dieses Verhältniß nunmehr aufgehoben; ein Theil des Sauerstoffs ist disponibel geworden. Da bei der Verwesung des Holzes immer auch der Sauerstoffgehalt des letztern abnimmt, so ist es angemessen, diesen Sauerstoff zu dem Kohlenstoff des Holzes hinübertreten zu lassen, um mit diesem Kohlensäure zu bilden. Diese Annahme wird um so mehr gerechtfertigt, als bei der Verwesung des Holzes immer Kohlensäure entwickelt wird.

Hiernach wären also die ersten Producte der Verwesung des Holzes (abgesehen von den stickstoffhaltigen Bestandtheilen desselben) Wasser und Kohlensäure. Um aber den Verwesungsprozeß in seinem ganzen Verlaufe verfolgen zu können, müssen wir die Formel des Holzes zur Hülfe nehmen. Diese ist nach Gay-Lussac $C_{36}\ H_{22}\ O_{22}$. Da ein Atom Kohlenstoff zwei Atome Sauerstoff zur Bildung von Kohlensäure bedarf, so müssen wir dem entsprechend zwei Atome Sauerstoff der Luft zu zwei Atomen Wasserstoff des Holzes hinübertreten lassen, damit sich zwei Aequivalente Wasser erzeugen. Die zwei überschüssigen Aequivalente Sauerstoff (des Holzes) verbinden sich dann mit einem Aeq. Kohlenstoff zu 1 Aeq. Kohlensäure. Man erhält also $CO_2 + 2\ HO$. Ziehen wir diese von der Formel des Holzes ab, so sehen wir, was im Rückstand bleibt:

Formel des Holzes	$C_{36}\ H_{22}\ O_{22}$
hiervon ab die durch die Verwesung ausgeschiedenen Producte	$C\ \ H_2\ \ O_2$
so bleibt Rückstand	$C_{35}\ H_{20}\ O_{20}$

Denken wir uns, der Austritt von $C\ H_2\ O_2$ finde abermals statt, ziehen wir also $C\ H_2\ O_2$ ab, so bleibt $C_{34}\ H_{18}\ O_{18}$

Die Zersetzung des Holzes in der angegebenen Weise kann der Theorie nach so lange vor sich gehen, bis aller Sauerstoff und Wasserstoff ausgetreten ist. Da die 22 Aeq. Sauerstoff des frischen Holzes 11 Aeq. Kohlenstoff bedürfen, um mit ihnen 11 Kohlensäure zu bilden, so blieben also C_{25} als endlicher Rückstand der Verwesung des Holzes. Diese 25 Aeq. Kohlenstoff werden sich unverändert erhalten, weil die Kohle bei gewöhnlicher Temperatur keine Verbindungen mit andern Körpern eingeht; den Rest C_{25} nennt Liebig „Moder".

Uebrigens scheinen sehr lange Zeiträume dazu zu gehören, bis das Holz gänzlich in Moder sich verwandelt hat. Denn die weiße zerreibliche Masse aus im Innern faulen, viele hundert Jahre alten, Eichen ist gewöhnlich nur um 1—2 Aeq. Kohlenstoff ärmer, als das Holz. Daß indessen die Holzsubstanz wirklich im Laufe der Zeit auf Moder reduzirt werden kann, davon geben uns die Lager von Graphit (fast vollkommen reinem Kohlenstoff), deren organischer Ursprung durch ihr Vorkommen in neptunischen Formationen erwiesen ist, Beleg. Die schwarze Farbe des Waldbodens rührt an vielen Orten, (nicht immer) von organischem Kohlenstoff her, welcher gleichfalls als Moder angesehen werden kann.

g. Belege für die Richtigkeit der eben entwickelten Theorie der Holzverwesung.

Die Unterstellungen, welche wir so eben bezüglich des Prozesses bei der Verwesung des Holzes gemacht haben, sind rein theoretische; um ihre Richtigkeit nachzuweisen, müssen wir die vorhin durch successive Subtraction von $C\ H_2\ O_2$ von $C_{36}\ H_{22}\ O_{22}$ enthaltenen Formeln mit den durch wirkliche Untersuchung gefundenen Formeln von in Zersetzung begriffenem Holze vergleichen.

Es fand Meyer den aus Eichenholz gebildeten Humus zusammengesetzt aus $C_{35}H_{20}O_{20}$, Will dagegen die Masse aus dem Innern eines Eichenstamms $= C_{34}H_{18}O_{18}$, so daß die unter f. gebildete theoretische Reihe

$$C_{36}\,H_{22}\,O_{22}$$
$$C_{35}\,H_{20}\,O_{20}$$
$$C_{34}\,H_{18}\,O_{18}$$

auch durch die Praxis bestätigt wird.

h. Die Verwesung des Holzes geht um so langsamer von Statten, je weiter sie vorgeschritten ist.

Je öfter der Austritt von 1 Aeq. Kohlensäure und 2 Aeq. Wasser aus dem Holze erfolgt ist, um so einfacher wird die Zusammensetzung des zurückbleibenden Restes; in dem nämlichen Maße nimmt aber auch die Anziehung der einzelnen Atome gegen einander zu, wodurch sowohl die Verbindung des

von außen her kommenden Sauerstoffs mit dem Wasserstoff des Holzes, als auch das Losreißen von 1 Aeq. Kohlenstoff und 2 Aeq. Sauerstoff (als Kohlensäure) aus dem Holze schwieriger gemacht wird. Bekanntlich widerstehen organische Körper um so eher dem Angriff feindlicher Agentien, sie zerfallen um so weniger leicht in ihre Elementarbestandtheile, je einfacher ihre Zusammensetzung ist. Darin ist denn auch die Ursache zu suchen, warum die durch ihre complizirte Zusammensetzung ausgezeichneten stickstoffhaltigen organischen Körper (wie Albumin, Fibrin, Casein, Leim u. s. w.) so leicht in Zersetzung übergehen.

Nachdem die Holzfaser einmal durch den Act der Verwesung in einen zerreiblichen Zustand versetzt worden ist, erhält sie sich sehr lange in demselben, ohne merkliche Quantitäten von Kohlensäure abzugeben. Ja es scheint, als ob der völlige Austritt des Wasser- und Sauerstoffs aus dem Holze noch nicht in hunderten, selbst tausenden von Jahren erfolgen könne. Den reinen Kohlenstoff, wie er nach der Theorie (C_{25}) zurückbleiben sollte, finden wir nur in den ältern Formationen als Graphit; schon die Steinkohle, seit deren Entstehung vielleicht Millionen von Jahren verflossen sind, und auch die Braunkohle, enthalten neben Kohlenstoff noch Sauerstoff und Wasserstoff.

i. Beförderungsmittel der Verwesung.

Wie unter 2 bemerkt worden ist, sind Sauerstoff, Wärme und Feuchtigkeit Bedingungen der Verwesung. Sorgt man dafür, daß dieselben in erhöhtem Maße vorhanden sind, so wird die Verwesung beschleunigt.

Bei gehörigem Feuchtigkeitsgehalte wirkt deßhalb Luftzug sehr auf die Verwesung ein. Um jeden verwesenden Körper bildet sich eine Schichte von Kohlensäure, welche die atmosphärische Luft mit ihrem Sauerstoff abschließt. Durch den Luftzug (Wind) wird diese Kohlensäure entfernt, an ihre Stelle tritt wieder die sauerstoffabgebende Luft. In geschlossenen Holzbeständen ist die Luft viel ruhiger, als über dem freien Felde, über Blößen oder solchen Flächen, auf denen kahler Abtrieb stattgefunden hat, und auch ruhiger, als in nicht geschlossenen Beständen. In erstern wird aus diesem Grunde der Humus sich länger erhalten können. Waldmäntel hemmen den Luftzug und tragen somit zur Conservation des Humus bei. Zu starker Wind hält übrigens die Verwesung zurück, weil er die organischen Körper ihrer Feuchtigkeit beraubt.

Trocken gehaltenes Holz, Laub u. s. w. bleibt lange Zeit in beinahe unverändertem Zustand, wie man an Möbeln, eingemauerten Balken 2c. sieht. Mangel an Feuchtigkeit mag hauptsächlich die Ursache sein, warum Buchenlaub in den gewöhnlichen Fällen langsamer verwest, als Eichenlaub. Der Baumschlag der Buche ist viel dichter, als derjenige der Eiche; in Buchwaldungen gelangt deßhalb weniger Regen und Thau an den Boden. Die Blätter der meisten Laubholzarten verwesen (verlieren ihren Zusammenhang) binnen

1—2 Jahren, während in geschlossenen Buchenwaldungen das abgefallene Laub sich 5 und mehr Jahre erhält. Aber die Buche besitzt auch unter allen Laubhölzern den dichtesten Baumschlag. In Gebirgen, in welchen den größeren Theil des Jahres eine nebelfeuchte Luft herrscht, verwest (wie im Vogelsgebirge) das Buchenlaub in 1—2 Jahren, also eben so schnell, wie das Eichenlaub. Immerhin ist es aber doch möglich, daß die Verwesung des Buchenlaubes auch noch durch andere Ursachen, welche in seiner Textur, seinen Saftbestandtheilen u. s. w. liegen können, verzögert wird.

Nadeln verwesen im Ganzen langsamer, als Laub; aber auch bei den Nadeln finden sich Unterschiedlichkeiten nach der Holzart. So verwesen die Nadeln der Lärche wohl ebenso schnell, als das Laub der Eiche, Erle u. s. w. In jungen Kiefernbeständen scheinen die Nadeln langsamer zu verwesen, als in ältern, was ohne Zweifel in dem größern Schluß der jüngern Kiefernbestände, durch welchen, wie durch das Laubdach der Buche, der Regen abgehalten wird, beruht. In Fichten- und Weißtannenbeständen bleibt der Boden viel länger, als in den Kiefernwaldungen mit Nadeln bedeckt, was dem dichtern Schlusse jener zuzuschreiben ist. Bei jüngern Fichten und Tannen schützen die bis zum Boden herabhängenden Aeste die abgefallenen Nadeln gegen Befeuchtung durch Regenwasser, Thau u. s. w.

Sind das Laub, die Nadeln u. s. w. mit der Erde vermischt (z. B. nach erfolgtem Umbruch durch Schweine, nach dem Roden der Stöcke) so verwesen diese Substanzen um so eher, je lockerer der Boden ist, wobei wir aber voraussetzen, daß an der nöthigen Feuchtigkeit kein Mangel sei. Daher verzehrt sich der Humus schneller in Sand-, als in Thonboden. Die Bodenlockerung, welche stattfindet, wenn der Waldboden zeitweise der landwirthschaftlichen Benutzung überlassen wird, hat immer eine Beschleunigung der Verwesung zur Folge.

Im Hochgebirge herrscht nicht allein im Durchschnitt des ganzen Jahrs, sondern auch in den Sommermonaten eine geringere Temperatur, als in der Ebene. Deßwegen schreitet auch die Verwesung des abgefallenen Baumlaubes, des Mooses, der Nadeln u. s. w. im Hochgebirg weniger rasch vor; es speichern sich hier unter sonst günstigen Verhältnissen bedeutende Quantitäten von Humus auf.

Die Verwesung des Holzes hängt sicherlich auch von der Dichte seiner Textur ab; deßhalb dauern weiche Holzarten im Ganzen weniger lange im Freien aus, als harte. Doch gilt dieses Gesetz nicht für alle Holzarten; das specifisch schwere Buchenholz z. B. hält sich nicht lange, wenn es der Feuchtigkeit und Luft ausgesetzt wird.

Harzreiches Nadelholz widersteht der Verwesung länger, als harzarmes. Das Harz ist keiner weitern Verwesung fähig; es muß vielmehr, weil es sich aus dem Terpenthinöl durch Sauerstoffaufnahme gebildet hat, schon als ein Product der Verwesung angesehen werden. Das Harz schützt die Holzfasern,

welche es umgibt, gegen den Zutritt der Luft. Wachs, Gerbsäure, Torfsäure, Humussäure scheinen ebenfalls die Verwesung aufzuhalten; die Säuren wahrscheinlich deßhalb, weil sie selbst den Sauerstoff begierig aufnehmen.

Die im Saft enthaltenen Alkalien befördern die Verwesung; einmal durch ihre Fähigkeit, Wasser aus der Atmosphäre anzuziehen, zum andern aber dadurch, daß ihre basischen Eigenschaften die Holzfaser zur Bildung von säureartigen Körpern veranlassen. Letzteres gilt auch von den alkalischen Erden.

B. Verwesung beim Abschluß der Luft.

Eigentlich ist die Luft bei der Verwesung niemals vollständig ausgeschlossen, weil die organischen Körper in ihren Zellen, Gefäßen, Poren u. s. w. immer etwas Luft enthalten. Indessen ist die Menge dieser Luft gering.

Wenn Holz u. s. w. durch Erde, Wasser u. dergl. außer Berührung mit der Atmosphäre gesetzt ist, wie z. B. bei Brückenrösten u. s. w. zu geschehen pflegt, so hält es sich sehr lange Zeiträume hin in fast unverändertem Zustande; erst nach Tausenden von Jahren nimmt die Oberfläche eines solchen Holzstückes das Ansehen der Braunkohle an.

Die Pfähle des Rostes einer Brücke, welche Germanikus über den Rhein schlagen ließ, fand man vor kurzer Zeit noch ganz wohl erhalten. Stämme, welche von vielen Fuß hohen nassen Torfschichten überlagert sind, haben kaum eine merkliche Veränderung in Bezug auf die Farbe, Dichtigkeit und den Zusammenhang des Holzes erlitten.

C. Verwesung bei unvollständigem Zutritt der Luft.

Mit Saft erfüllte Holzstücke, welche nicht gehörig austrocknen können, (z. B. weil sie nicht entrindet worden sind) nehmen in ihrem Innern eine dunklere (graue, schwärzliche) Farbe an, werden mürb und verlieren ihre Consistenz. Man nennt diesen Act der freiwilligen Zersetzung des Holzes: das Verstocken. Es kommt vorzüglich bei aufgeklaftertem dickspaltigem Holze und an solchen Orten vor, welche nicht hinreichend dem Luftzug exponirt sind.

Auch die abgestorbenen innern Holzlagen von noch lebenden Bäumen sind häufig dem Verstocken unterworfen. Bei diesen geht die ursprüngliche dunklere Färbung der verstockten Stellen im Laufe der Zeit in eine hellere, weißliche bis gelbe, über. Verschiedene Pilze und Schwämme finden sich immer im verstockten Holze ein und scheinen die Zersetzung weiter fortzutragen, wenn sie auch nicht als die primitiven Ursachen des Verstockens angesehen werden können.

Chemische Analysen haben ergeben, daß verstocktes Holz (z. B. aus dem Innern von Bäumen) eine Zusammensetzung besitzt, welche sich durch die Formel $C_{40} H_{16} O_{14}$ ausdrücken läßt. Man hat diese Materie Ulminsubstanz genannt. Sie ist vielfachen Veränderungen unterworfen, je nachdem Alkalien, Feuchtigkeit und Sauerstoff auf sie einwirken können. Unter Umständen, deren Bedingungen aber noch nicht gehörig ermittelt worden sind, geht die Ulmin-

substanz in Huminsubstanz $C_{40} H_{15} O_{15}$, Ulminsäure $C_{40} H_{14} O_{12}$, Huminsäure $C_{40} H_{12} O_{12}$, Geïnsäure $C_{40} H_{12} O_{14}$, Quellsäure $C_{24} H_{12} O_{16}$, Quellsatzsäure $C_{48} H_{12} O_{24}$ über. Hierbei entwickelt sich gewöhnlich Sumpfgas (leichtes Kohlenwasserstoffgas $= CH_2$).

Genauer, als beim Holze, hat man die Ueberführung der Ulminsubstanz in die sogenannten Humussäuren beim Zucker untersucht. Dieser liefert, wenn man ihn mit Säuren und Basen nach einander behandelt, die nämlichen Producte, als das bei unvollständigem Zutritt der Luft verwesende Holz.

1. Ulminsubstanz und Huminsubstanz.

Wird gewöhnlicher Rohrzucker mit verdünnter Schwefelsäure längere Zeit bei einer unter dem Siedepunkt liegenden Temperatur erwärmt, so verwandelt er sich in eine braune unlösliche Materie, welche sowohl ihrem äußern Ansehen, als auch ihrer Zusammensetzung nach die größte Aehnlichkeit mit der vorhin erwähnten Ulminsubstanz hat. Gleichzeitig entsteht Ameisensäure und Wasser. Man kann sich denken, aus 7 Aeq. Rohrzucker bilden sich 2 Aeq. Ulminsubstanz, 2 Aeq. Ameisensäure und 43 Wasser.

Rohrzucker	$= C_{12} H_{11} O_{11}$;	7 Aeq. Rohrzucker	$= C_{84} H_{77} O_{77}$
Ulminsubstanz	$= C_{40} H_{16} O_{14}$;	2 Aeq. Ulminsubstanz	$= C_{80} H_{32} O_{28}$
Ameisensäure	$= C_2 \; H \; O_3$;	2 Aeq. Ameisensäure	$= C_4 \; H_2 \; O_6$
Wasser	$= H \; O$;	43 Aeq. Wasser	$= H_{43} O_{43}$
		Summe = 7 Rohrzucker	$= C_{84} H_{77} O_{77}$

Kocht man die Ulminsubstanz noch weiter mit Schwefelsäure, so verwandelt sie sich in

Huminsubstanz $= C_{40} H_{15} O_{15}$

Dieser Umwandlungsprozeß findet in der Weise statt, daß 1 Aeq. Sauerstoff der Luft zu dem Sauerstoff der Ulminsubstanz tritt, daß dagegen ein zweites Aeq. Sauerstoff der Luft sich mit einem Aeq. Wasserstoff der Ulminsubstanz zu 1 Aeq. Wasser verbindet, welches ausgeschieden wird. Es ist nämlich

Ulminsubstanz + O—H = Huminsubstanz oder

$$\begin{array}{c} C_{40} H_{16} O_{14} \\ -H+O \\ \hline C_{40} H_{15} O_{15} \end{array}$$

2. Ulmin und Ulminsäure, Humin und Huminsäure.

Betrachten wir nun die Umwandlungsproducte der Ulmin- und Huminsubstanz.

A. Ulminsubstanz.

Behandelt man diese mit kochendem kohlensaurem Natron, so entsteht

a) Ulmin. Es hat die Zusammensetzung der Ulminsubstanz, nämlich

$C_{40}H_{16}O_{14}$ und ist unlöslich. Durch Kochen mit concentrirtem Aetznatron geht es in ulminsaures Natron über.

b) Ulminsaures Natron. Man scheidet die Ulminsäure von dem Natron durch Zusatz von Schwefelsäure ab; nämlich

$$\text{Ulminsäure} + \begin{cases}\text{Natron} \\ SO_3\end{cases}$$

Die Ulminsäure wird in dem vorliegenden Falle als eine braune gallertartige Masse gefällt. Sie löst sich in reinem Wasser. Es ist die Zusammensetzung der

$$\text{Ulminsäure} = C_{40}H_{14}O_{12}$$

Man kann sie sich entstanden denken aus dem Ulmin, von welchem zwei Aeq. Wasserstoff sich mit ebensoviel Sauerstoff zu 2 Aeq. Wasser verbunden und abgeschieden haben.

B. Huminsubstanz.

Behandelt man diese mit kohlensaurem Natron, so bildet sich

a) Humin. Es ist unlöslich und besitzt genau die Zusammensetzung der Huminsubstanz, demnach $C_{40}H_{15}O_{15}$. Mit concentrirtem Aetznatron behandelt, geht es in huminsaures Natron über.

b) Huminsaures Natron. Man scheidet die Huminsäure von dem Natron mittelst Schwefelsäure ab.

$$\text{Huminsäure} + \begin{cases}\text{Natron} \\ SO_3\end{cases}$$

Auch die Huminsäure ist in reinem Wasser löslich. Ihre Formel ist $O_{40}H_{12}C_{12}$.

Sowohl Humin und Huminsäure, als auch Ulmin und Ulminsäure finden sich in der Natur, obwohl der Uebergang des Humins in Huminsäure und des Ulmius in Ulminsäure hier in anderer Weise erfolgt, als im Laboratorium unter Anwendung künstlicher Reagentien.

3. Geïnsäure.

Die huminsauren Salze gehen unter der Einwirkung der Sauerstoffs in manchen Fällen in Geïnsäure $= C_{40}H_{12}O_{12}$ über.

4. Quellsäure und Quellsatzsäure.

Beide sind von Berzelius in Quellen gefunden worden; sie scheinen jedoch, so wie die Geïnsäure nur in geringen Mengen vorzukommen. Auch treten die beiden Säuren neben Huminsäure auf. In reinem Zustande kennt man sie noch nicht, weil sie nicht von anhängendem Ammoniak befreit werden können.

Es ist die Zusammensetzung

des Quellsäurehydrats $= C_{24}H_{12}O_{16} + 3\,OH$.

des Quellsatzsäurehydrats $= C_{48}H_{12}O_{24} + 2\,OH$.

D. Torfbildung.

a. Begriff von Torf.

Der Torf bildet sich aus abgestorbenen und mehr oder weniger der Zersetzung bei unvollständigem Luftzutritt anheimgefallenen Pflanzen. Häufig kommen hierzu auch noch Mineralstoffe, wie Sand, Thon, Lehm, Kalk, Eisenkies, Eisenvitriol, Blaueisenerde, Eisenocker u. s. w.

Nach Regnault ist die Zusammensetzung des Torfs von Vulcaire

	mit Asche	ohne Asche
Kohlenstoff	57.03	60.40
Wasserstoff	5.63	5.86
Sauerstoff	31.76	33.64
Asche	5.58	—
	100.00	100.00

hierfür berechnet sich die Formel $C_{13}H_{21}O_{13}$.

Die Asche, welche der Torf beim Brennen hinterläßt, rührt zum geringsten Theil von den Pflanzen her, aus denen der Torf entstanden ist, ist vielmehr von außen (als Sand, Erde, Staub u. s. w.) hinzugekommen. Die guten Torfsorten sind ärmer an Asche, als das Holz, weil der Torf beständig vom Wasser ausgelaugt wird. Die Torfasche zeichnet sich durch ihren Mangel an kohlensaurem Kali aus.

Viele Torfarten enthalten auch harzige und wachsartige Stoffe, deren Menge im Durchschnitt 1—2 Prozente beträgt.

Das specifische Gewicht des ausgetrockneten Torfes schwankt zwischen 0,3 und 0,9.

Alle Torfarten enthalten Huminsäure, Quell- und Quellsatzsäure.

b. Bedingungen für die Torfbildung.

Sowohl die chemische Zusammensetzung des Torfs, als auch das Vorkommen der Huminsäure, der Quell- und Quellsatzsäure deuten darauf hin, daß der Prozeß der Torfbildung nicht bei vollständigem Zutritt der Luft stattfindet. Denn im letztern Falle würden die genannten Säuren fehlen, auch könnte der Wasserstoff sich nicht in so bedeutendem Uebergewicht über den Sauerstoff erhalten haben. Wahrscheinlich findet beim Torfe die Verwesung ganz oder zum größten Theil auf Kosten des Sauerstoffs statt, den die Torfpflanzen selbst besitzen. Vergleichen wir nämlich die vorhin entwickelte Formel des Torfs mit der Gay-Lussac'schen Formel des Holzes, so können wir uns den erstern entstanden denken durch Austritt von 5 Aequivalenten Kohlensäure und 1 Aeq. Wasser

Eichenholz $= C_{36}H_{22}O_{22}$
hiervon ab 5 Kohlensäure $= C_5 \quad O_{10}$
und 1 Wasser $\quad H \quad O$
in Summe $C_5 H O_{11}$
so bleiben $C_{31}H_{21}O_{11}$

Nehmen wir nun an, daß 2 Aeq. Sauerstoff von der Luft geliefert worden seien und fügen wir diese dem so eben erhaltenen Reste zu, so ergibt sich

$$C_{31}H_{21}O_{13} = \text{Torf}.$$

Hauptsächlich ist es stagnirendes Wasser, welches die Luft bei der Bildung des Torfes abschließt. Torflager werden sich daher vorzüglich an solchen Orten erzeugen, welche zwar noch eine hinreichende Temperatur zur Entwicklung der Vegetation, aber vor Allem stehendes Wassern besitzen, welches den Torf zum größten Theil des Jahres hindurch von der Luft abschließt.

Vorzüglich geeignet für die Torfbildung sind Hochgebirge, in denen einestheils bedeutende Niederschläge von meteorischen Wassern erfolgen, anderntheils aber auch die niedrige Temperatur der Luft ein rasches Verdunsten dieses Wassers verhindert. Finden sich an solchen Orten Felsarten, welche aus Mangel an Zerklüftung das Wasser nicht in die Tiefe sickern lassen, oder bildet daselbst Thon *) einen undurchlassenden Untergrund, so stauen sich die Wasser an und verursachen Sümpfe. In diesen wachsen Pflanzen, meist niedrig organisirte Arten. Aber auch ebene Flächen mit geringer Neigung gegen die Horizontale und mit undurchlassendem Untergrund haben Torflager aufzuweisen. Einige der gewöhnlichsten vorkommenden Sumpfgewächse sind.

Erica tetralix, Calluna vulgaris, Vaccinium uliginosum, Vaccinium Oxycoccos, Vaccinium vitis idaea, Andromeda polyfolia, Empetrum nigrum, Ledum palustre, Salix rosmarinifolia, Eriophorum vaginatum, gracile, verschiedene Carex-Arten, wie Carex paludosa, stricta etc., Ranunculus, Nymphaea, Alisma, Hydrocharis, Sagittaria, Potamogeton, Callitriche, Hippuris, Ceratophyllum, Chara, Lemna, Drosera, Juncus, verschiedene Hypnum-Arten, wie Hypnum fluviatile, cuspidatum u. s. w. mehrere Equiseta; vor Allem aber die Gattung S p h a g n u m mit den Arten

*) Unmittelbar auf Thon bemerkt man die wenigsten Torflager, in den meisten Fällen finden sich dieselben auf Sand, unter welchem in einiger Tiefe der Thon hinstreicht.

Fig. 56.



cymbifolium (Fig. 56.), molluscum, squarrosum, acutifolium, cuspidatum u. s. w.

Diese Pflanzen erzeugen sich sowohl auf dem Boden der Sümpfe, als auch auf der Oberfläche des Wassers. Sie sinken, wenn sie im Herbst absterben, entweder auf den Boden des Sumpfes, oder tauchen doch so weit unter, daß sie vom Wasser bedeckt sind, oder werden endlich von den Herbstwassern überstaut. Nach Forchhammer soll in Dänemark das Wachsthum der größten Torfmoore nicht selten in der Weise vor sich gehen, daß die Oberfläche eines See's sich mit einer Moosdecke überzieht, welche auf dem Wasser schwimmt und zuweilen so dick wird, daß sie einen Menschen zur Noth tragen kann. Dergleichen Moore heißen „Hangesack“ im Munde des Volkes. Wind und Fluth führen Sand und Schlamm über diese Moosdecke hin, der auf ihr entstehende Marschboden wird immer dicker. (Bronn, Geschichte der Natur. II. 351).

Schwimmende Inseln von Torf, die in der eben angegebenen Weise sich bilden, findet man übrigens noch an vielen andern Orten. „In dem Gerdauer See in Preußen befand sich lange eine schwimmende Torfinsel, so groß, daß 100 Stück Vieh darauf waideten. Sie wurde 1707 in mehrere Stücke zerrissen und jetzt sind nur noch geringe Reste davon übrig. (Bronn).“

Sämmtliche Europäische Gebirge enthalten Torfmoore; am reichsten daran ist die große Ebene, welche sich von Belgien und Holland an den Küsten der Nord- und Ostsee vorbei bis nach Rußland erstreckt. Diese Ebene bildete wahrscheinlich früher den Grund eines Meeres, sie ist jetzt noch nicht bedeutend über dem Meeresspiegel erhaben und besitzt demnach die geeignete Beschaffenheit zur Entstehung von Sümpfen. Auch in Irland, Schottland, Norwegen und Schweden kommen bedeutende Torfmoore vor.

In den Ebenen der Aequinoctialgegenden fehlt der Torf gänzlich, wahrscheinlich deßhalb, weil die daselbst herrschende hohe Temperatur ein völliges Verwesen der zur Torfbildung tauglichen Pflanzen bewirkt. Nur auf dem Plateau der Anden, wo die mittlere Temperatur nicht über 8° bis 10° C. beträgt, fand Boussingault Seen mit Torfgrund.

c. **Benennung der Torfmoore nach ihrer äußern Erscheinung.**

Man unterscheidet:

α. Hochmoore. Nachdem eine Vertiefung, ein Sumpf durch Torf ausgefüllt worden ist, findet in vielen Fällen noch eine fortgesetzte Torferzeugung statt, trotzdem, daß jetzt die Pflanzen nicht mehr von einem Wasserspiegel bedeckt sind. Diese Erscheinung hat ihren Grund in der Capillarität der Torfmoore; es wird beständig Wasser aus der Tiefe aufgesogen und die abgestorbenen Pflanzen sind hier so stark mit Wasser imprägnirt, daß sie förmlich davon triefen. Durch dieses Wasser werden sie vor der vollständigen Verwesung geschützt. Das Anwachsen des Moors über den Wasserspiegel hinaus kann zehn bis zwanzig Fuße betragen. Nach dem Rande hin nimmt die Höhe eines solchen Hochmoors ab, weil hier die Capillarität viel geringer, als in der Mitte ist. In Rußland kommen Hochmoore von sehr bedeutender Ausdehnung vor; so soll das Torfmoor, welches die nördliche Küste Asiens begrenzt und angeblich 300 Meilen Länge und 100 Meilen Breite besitzt, als ein Hochmoor angesehen werden können. Der Boden der Torfmoore ist wenig fruchtbar; seine Vegetation besteht gewöhnlich aus einzelnen verkrüppelten Kiefern, Birken und Weiden.

β. Kesselmoore. Hier ist der Torf in eine kesselartige Vertiefung zwischen Anhöhen eingelagert. Seine Mächtigkeit kann bis 15 Fuße betragen. Oft ist der Kessel durch den Torf vollständig ausgefüllt. Die Baumvegetation dieser Moore ist ebenso, wie die der Hochmoore, gering; dagegen liefern sie Gras und Waide.

γ. Wiesenmoore. Sie liegen meist in großen Ebenen, welche von unbedeutenden Anhöhen umgeben sind, oder an den Seiten der Flüsse. Ihre Ausdehnung ist gewöhnlich größer, als diejenige der Kesselmoore.

δ. Meermoore. Diese befinden sich an der Küste des Meeres.

d. **Unterscheidung des Torfs nach seiner innern Beschaffenheit.**

Je nach der Oertlichkeit gibt es eine zahllose Menge von Torfarten. Die Hauptklassen derselben sind folgende:

α. Moostorf. Er besteht vorzüglich aus den Stengeln und Blättern von Sphagnum, welche der oben beschriebenen unvollständigen Verwesung anheimgefallen sind. Seine Farbe ist manchmal ganz hell, wie die des frischen Mooses.

β. Rasentorf. Dieser wird durch Gras, Schilf u. s. w. gebildet.

γ. Pechtorf. Er ist mit Erdharz imprägnirt und hat einen muscheligen Bruch.

δ. Papiertorf. Er besteht aus vermoderten Blättern, Moosen, Gras u. s. w. und läßt sich in dünne Schichten trennen.

ε. Baggertorf. Dieser besitzt durchaus keinen Zusammenhang und unterscheidet sich dadurch wesentlich von den vorgenannten Torfarten. Man formt den Baggertorf in Klöße, wenn er technische Verwendung finden soll. Der Baggertorf kann als ein organischer Schlamm angesehen werden.

e. **Nachwachsen des Torfs.**

Dafür, daß der Torf noch gegenwärtig sich erzeugt, gibt das Nachwachsen desselben in ausgestochenen Torflagern schlagenden Beleg. Die Quantität des jährlichen Zuwachses ist indessen außerordentlich verschieden nach den Gewächsen, welche zur Torfbildung beitragen. Am bedeutendsten ist das Nachwachsen bei solchen Torflagern, welche aus Sphagnum-Arten bestehen. Diese Pflanze treibt nämlich aus einem und demselben Stengel immer neue Aestchen und Würzelchen, sobald der untere Theil abstirbt. So kann man in manchen Torflagern Sphagnum-Stengel von zehn und mehr Fußen Länge verfolgen. — Rechnet man bei dem Abstich eines Torfmoors auf Wiedererzeugung des Torfs, so hat man vor Allem darauf zu sehen, daß der Torf nicht bis auf die nackte Erde herausgenommen wird, sondern daß eine, wenn auch dünne, Torfsohle erhalten bleibt. Mit dem Abstich des Moors darf nur ein temporäres, kein gänzliches Ableiten des zur Torfbildung unumgänglich nöthigen Wassers verbunden sein. Uebrigens soll ein mäßiger Feuchtigkeitsgrad die Torfbildung weit mehr begünstigen, als vollkommene Ueberschwemmung. Bode bemerkt, daß in Kurland ein vor 120 Jahren ausgestochenes Torflager, welches seitdem mit Wasser angefüllt und ohne Abfluß war, einen Nachwuchs von 2½ Fuß Dicke hatte, während dieser in Torfgruben mit Wasserabfluß 4—4½ Fuß, also beinahe das Doppelte betrug. Es ist übrigens auch einleuchtend, daß in einer blos nassen Lage die zur Torfbildung geeigneten Pflanzen besser vegetiren werden, als in einem See. Zweckmäßig ist es auch, die Vegetabilien, welche die oberste Bekleidung des Moores ausmachen, nach erfolgtem Abstich auf die stehenbleibende Sohle auszubreiten.

Wir geben nun einige Notizen über den Nachwuchs des Torfes:

Im Jahre 1804 wurde ein Torfstich zu Gundolzen am Bodensee eröffnet; nach Verlauf von 22 Jahren hatte sich eine neue Torflage von 2½ Fuß Dicke gebildet. Die nämliche Zuwachsgröße fand man in einem Torflager zu Gayenhofen. (Mayer) Van Marum beobachtete, daß in einem Wasserbecken in seinem Garten in fünf Jahren eine vier Fußhohe Torfschicht durch Conferva rivularis (?) und Myriophyllum entstand. — Nach de Luc sticht man in den Ostfriesischen und Bremischen Mooren 15—20 Fuß lange und

6 Fuß tiefe Gräben, die sich binnen 30 Jahren wieder mit Torf füllen. Fr. Hoffmann erzählt, daß das Altwarmbrücher Moor bei Hannover zum zweiten Mal seit 50 Jahren abgestochen wurde. Der Torf, welcher dort 10—12 Fuß hoch steht, wovon nur 8 Fuß weggenommen wurden, hat sich erweislich in 50 Jahren wieder erzeugt. An den noch jetzt in Betrieb stehenden Torfmooren bei Greifswalde erkennt man, daß sie, jedoch nur bis zur halben Tiefe schon einmal abgestochen worden sind; der in den früheren Gruben fast bis zur Oberfläche des Moors nachgewachsene Torf unterscheidet sich augenblicklich von dem darunter liegenden durch gelbere Farbe und geringere Dichte. — Die hölzerne Brücke des Germanikus fand man vor noch nicht langer Zeit von einer 2—4 Fuß hohen Torfschicht bedeckt zwischen Valke und dem Kloster Ter Apel im Drenthe-Departement der Niederlande. (Bronn).

In einigen ältern Torfmooren findet man Baumstämme, zum Theil in vertikaler Stellung, so daß kein Zweifel darüber bestehen kann, daß diese Stämme in dem Boden des Moores selbst wurzelten und späterhin durch den nachwachsenden Torf eingehüllt wurden.

Drittes Kapitel.

Bodenbildung durch chemische Kräfte.

(Verwitterung im engeren Sinne des Wortes).

1. Allgemeines.

Wenn man zwei Körper mit einander in unmittelbare Berührung bringt, so wirken ihre Bestandtheile in vielen Fällen auf einander ein, so daß zwei neue Körper entstehen, welche von den ursprünglich vorhanden wesentlich verschieden sind. Setzt man z. B. zu einer Auflösung von Gyps eine solche von kohlensaurem Ammoniak, so entsteht kohlensaurer Kalk und schwefelsaures Ammoniak.

$$SO_3 + CaO$$
$$\times$$
$$CO_2 + AmO$$

Diese Wirkungsweise findet indessen nur dann statt, wenn die beiden Körper mit einander in unmittelbarer Berührung sind. Hierdurch unterscheiden sich die chemischen Kräfte sehr wesentlich von den physikalischen Kräften, welche wie z. B. die Schwere, der Magnetismus, ihren Einfluß auch in die Ferne äußern.

Es ist klar, daß die Veränderung, welche zwei Körper durch chemische Action erleiden, um so durchgreifender und vollständiger sein müsse, in je innigerer Berührung die beiden Körper sich befinden. Dieses Verhältniß wird dann am meisten erreicht, wenn die beiden Körper eine recht große Oberfläche besitzen. Sind sie z. B. flüssig, so können sie sich an allen Punkten berühren, weil den Flüssigkeiten die Möglichkeit einer vollständigen Durch-

bringung gegeben ist. Deßwegen bringt der Chemiker diejenigen Substanzen, welche einer chemischen Action unterworfen werden sollen, wo dies nur immer thunlich ist, in Auflösung.

Befinden sich die Körper nicht in Auflösung, so kann durch Pulvern ihre Oberfläche vermehrt werden.

Wie sehr die chemische Wirkung irgend eines Körpers auf einen andern von der Größe der Oberflächen abhängt, wird folgendes Beispiel lehren. Ein Kubikzoll Eisen, dessen Seite 1 Zoll lang ist, besitzt im Ganzen eine Oberfläche von 600 Quadratlinien (dec.) walzt man diesen Cubikzoll in ein Blech von 1 Linie Dicke aus, so ist die Oberfläche des letzten mehr als 2000 Quadratlinien groß. Eisen verbindet sich mit dem Sauerstoff an seiner Oberfläche und rostet. Offenbar wird die Menge des gebildeten Rostes der Größe der Oberfläche proportional sein, sich demnach bei den eben genannten Formen wie 600: 2000 = 6: 20 verhalten. Gibt man aber dem Eisen die Gestalt eines sehr feinen Pulvers (durch Reduction des Oxyds in Wasserstoffgas), wodurch seine Oberfläche außerordentlich vermehrt wird, so entzündet es sich an der Luft, indem es sich an allen Punkten mit dem Sauerstoff verbindet und verbrennt vollständig zu Oxyd.

Die mechanischen Kräfte arbeiten den chemischen dadurch vor, daß sie die Gesteine zerkleinern, also, mit andern Worten, ihre Oberfläche vergrößern.

2 Die Agentien der Verwitterung und ihre Wirkung bei den einfachen Gesteinen.

A. Chemische Wirkung des Wassers.

a. Verwitterung durch Aufnahme von Krystallisations- und Hydratwasser.

Verbindungen von Basen oder Säuren in bestimmten Verhältnissen mit Wasser nennt man Hydrate und bezeichnet dieses Wasser mit aq; mit Salzen oder Hydraten verbundenes Wasser, welches die Krystallgestalt bedingt, nennt man Krystallwasser. (OH)

α. Anhydrit = wasserfreier Gyps = $CaO + SO_3$.

Er kommt in vielen neptunischen Formationen, hauptsächlich in der Triasgruppe vor und setzt mitunter ganze Berge zusammen. Durch Aufnahme von 2 Aeq. Wasser verwandelt er sich in Gyps = $CaO, SO_3 + 2OH$. Hierbei vergrößert sich sein Volum, ohne Aenderung der Krystallgestalt. Es ist wahrscheinlich, daß die meisten Gypse aus Anhydrit auf die eben angegebene Weise entstanden sind. Der Anhydrit ist in Wasser nur sehr wenig auflöslich; durch chemische Bindung von Wasser erhält er aber die Löslichkeit des Gypses und kann nun für die Vegetation wirksam werden.

β. Eisenglanz = Fe_2O_3

findet sich in vielen Gesteinen, z. B. Kalk, Grauwacke, Schiefer, vorzüglich aber als accessorischer Gemengtheil plutonischer Felsarten, z. B. des Granits

Durch Aufnahme von Wasser geht der Eisenglanz in

Brauneisenstein $= 2\ Fe_2O_3 + 3\ aq =$ Eisenoxydhydrat

über.

b. Auflösung der Gesteine in reinem Wasser.

Die meisten Mineralien besitzen eine nur geringe Löslichkeit in reinem (d. h. kohlensäurefreiem) Wasser. Da übrigens die Menge des meteorisch niederfallenden Wassers nicht unbedeutend ist (nach Schübler fallen auf 1 Preuß. Morgen nahe an 4 Millionen Pfund Wasser als Regen, Schnee u. s. w.) und da die Feuchtigkeit durch Nebel, Wolken u. s. w. bis in die höchsten Gebirge geführt wird, so sind die Veränderungen, welche die Gesteine unter dem Einfluß der Feuchtigkeit im Laufe der Zeit erleiden, nicht zu übersehen.

α. Steinsalz $= ClNa$. Es kommt in sehr bedeutenden Massen im Zechstein und in der Triasgruppe vor. Das Steinsalz ist in Wasser löslich. In feuchter Luft zieht es Wasser an und zerfließt darin. Dieses Zerfließen tritt in noch höherm Grade bei dem durch Chlorcalcium und Chlormagnesium verunreinigten Salze ein. In manchen Gegenden, z. B. in den Russischen Steppen ist der Boden auf große Strecken hin mit Steinsalz imprägnirt.

β. Gyps $= SO_3\,CaO + 2\ OH =$ schwefelsaurer Kalk $+ 2$ Aeq. Wasser. Die Farbe des Gypses ist meist weiß oder röthlich, aber auch grau bis schwarz, seltener gelb. Nach der Textur unterscheidet man

dichten Gyps, ohne alles krystallinische Gefüge. Dieser kommt am wenigsten häufig vor;
blätterigen Gyps (Fraueneis),
faserigen Gyps,
schaumartigen Gyps (Bergmehl).

Von allen schwefelsauren Salzen tritt der Gyps in den größten Massen auf. Er kommt in den ältern sedimentären Formationen vom Old red Sandstone an aufwärts vor. Am häufigsten findet man ihn in den Formationen des Zechsteins und der Triasgruppe; hier ist er ein fast nie fehlender Begleiter des Steinsalzes. In der Formation des bunten Sandsteins wechsellagert er oft mit den bekannten rothen Thonen. Auch in der untern Abtheilung des Keupers ist der Gyps häufig in Begleitung von Dolomiten anzutreffen.

Der Gyps ist in Wasser löslich. 1 Theil Gyps braucht 460 Theile Wasser zur Auflösung.

γ. Kohlensaurer Kalk $= CO_2,\ CaO$.

Eines der verbreitetsten Gesteine und in überaus großen Massen vorkommend. Wir finden ihn in der Grauwackengruppe als Uebergangs-, in der Steinkohlengruppe als Berg- oder Kohlenkalk; im Zechstein als bituminösen Kalk, in der Trias als Muschelkalk, in der Juragruppe als Jurakalk, in der Kreidegruppe als Kreide, in der Molasse als Grobkalk, in den Diluvialgebilden als Süßwasserkalk, in dem Alluvium als jüngsten Meereskalk, in der Gruppe der krystallinischen Schiefergesteine als Urkalk oder körnigen Kalk.

Der kohlensaure Kalk erscheint entweder amorph oder krystallisirt, als Kalkspath und Arragonit. Von den Krystallformen des erstern kennt man über 300 Varietäten; sie lassen sich indessen alle auf das Rhomboeder, welches von sechs gleichen Rhomben eingeschlossen ist, zurückführen. Der Arragonit weicht in seiner Krystallgestalt wesentlich von der Urform des Kalkspaths ab, unterscheidet sich von diesem auch durch größere Härte und ein bedeutenderes specifisches Gewicht.

Nach Fresenius braucht ein Theil kohlensaurer Kalk zu seiner Lösung 10601 Theile reinen (kohlensäurefreien) Wassers.

B. **Verwitterung durch Oxydation.**

α. Eisenspath $= FeO, CO_2 =$ kohlensaures Eisenoxydul.

Der Eisenspath findet sich mitunter in so großen Massen, daß er (wie in der Gegend von Siegen) zur Bereitung des Stahls verwandt wird. Seine Farbe ist gelblich, er ist härter, als der Kalkspath. Mitunter kommt er in nierenförmigen Anhäufungen vor; alsdann führt er die Benennung Sphärosiderit.

Der Eisenspath verliert allmählig seinen Gehalt an Kohlensäure, das Eisenoxydul nimmt Sauerstoff auf und es entsteht, indem gleichzeitig Wasser gebunden wird,

Brauneisenstein $= 2\ Fe_2O_3 + 3$ aq.

β. Olivin.

Er findet sich hauptsächlich im Basalt und ist für diesen, mit wenigen Ausnahmen, sehr characteristisch. Obgleich der Olivin nur ein accessorischer Bestandtheil des Basaltes ist, so kommt er doch in den meisten Basalten in solcher Häufigkeit vor, daß er die Constitution des letztern wesentlich bedingen hilft. Die Basalte des Vogelgebirges in Hessen enthalten durch ihre ganze Masse hin zerstreut Olivinkörner: ihre Größe wechselt von mikroscopischer Kleinheit bis zu der Größe eines Kinderkopfs.

Der Olivin ist für die Verwitterung des Basaltes von um so größerer Wichtigkeit, als er, selbst leicht zersetzbar, die Zerstörung dieses Gesteins hauptsächlich einleitet und befördert. Ist der Olivin aus einem Stück Basalt herausgewittert, so erscheint es nun durch und durch mit drusenartigen Räumen versehen, in welche das Wasser einzudringen, und, indem es gefriert, diejenigen Erscheinungen hervorzubringen vermag, welche wir früher ausführlich betrachtet haben.

Man kennt zwei Varietäten des Olivins — den eigentlichen Olivin und den Chrysolith. Beide besitzen übrigens die nämliche chemische Zusammensetzung. Die wesentlichen Bestandtheile des Olivins sind Kieselsäure, Magnesia und Eisenoxydul. Es läßt sich folgende Formel für den Olivin aufstellen:

$$10\ (3\,MgO,\ SiO_3) + 3\ FeO,\ SiO_3$$

welcher als prozentische Zusammensetzung entspricht:

Kieselsäure	41,19
Talkerde	50,27
Eisenoxydul . . .	8,54
	100,00

Die Verwitterung des Olivins geht in der Weise vor sich, daß das Eisenoxydul in Eisenoxydhydrat sich verwandelt Das Eisenoxydul nimmt also sowohl Sauerstoff, als Wasser auf. Dabei wird das Mineral gelb bis braun und zerfällt in eine zerreibliche, erdige Masse.

Für die Zersetzbarkeit des Olivins gibt seine Auflöslichkeit in Salzsäure einen Maßstab; daß der Olivin in der That leicht verwittert, beweist sein Vorkommen im Basalte des Vogelsgebirges. Dort gehören nämlich die unzersetzten Olivine zu den Seltenheiten.

Wir haben hier die Verwitterung des Olivins nur insoweit betrachtet, als sie auf einer Oxydation des Eisenoxyduls beruht. Die Wirkung der Kohlensäure auf dieses Mineral werden wir später abhandeln.

γ. Magneteisen $= FeO + Fe_2O_3 =$ Eisenoxyduloxyd.

Das Magneteisen, welches sich durch die Eigenschaft, das Eisen anzuziehen auszeichnet, findet sich vorzüglich im Basalt, zu dessen wesentlichen, Bestandtheilen es gehört; es nimmt oft 16—18% davon ein. Außerdem tritt aber das Magneteisen noch im Trachyt, in den Laven und als accessorischer Bestandtheil vieler plutonischen Gesteine, wie des Granits, Gneißes auf. In vielen Gegenden kommt es als Magneteisensand vor, entstanden aus der Verwitterung des Basaltes und der Lava. In Lappland setzt es ganze Berge zusammen.

An der Luft verändert sich das Magneteisen, indem es sich höher oxydirt. Das Eisenoxydul verwandelt sich in Oxyd.

$$2\ \text{Magneteisen} = \left.\begin{matrix} FeO + Fe_2O_3 \\ FeO + Fe_2O_3 \\ O\ \text{der Luft} \end{matrix}\right\} = 3\ (Fe_2O_3).$$

Aus zwei Aequivalenten Magneteisen entstehen also drei Aequivalente Eisenoxyd.

δ. Eisenkies, Pyrit, Markasit $= FeS_2 =$ Schwefeleisen.

Diese Mineralien finden sich häufig accessorisch in plutonischen Gesteinen, besonders aber auf Klüften.

Die Verwitterung des Schwefeleisens erfolgt in der Weise, daß, unter gleichzeitiger Abscheidung von 1 Aeq. Schwefel, 1 Aeq. Sauerstoff zu dem Eisen und 3 Aev. Sauerstoff zu dem restirenden Schwefel treten, wodurch schwefelsaures Eisenoxydul Eisenvitriol entsteht

$$\begin{matrix} S \\ Fe\,S \\ (\ \ ) \\ O\,O_3 \end{matrix} = S + FeO,\ SO_3.$$

Diese Verbindung kann aber nicht für sich bestehen; sie bedarf zu ihrer Constitution noch 6 Aeq., nach andern Chemikern 7 Aeq. Wasser. Wir erhalten also aus dem Eisenkies

$$FeO, SO_3 + 6\ OH \text{ oder } 7OH.$$

Durch die Aufnahme von Wasser wird das ursprüngliche Volumen des Eisenkieses bedeutend vermehrt. Die Folge dieser Volumsveränderung ist ein Bersten der Felsarten, in welche der Eisenkies eingesprengt war.

c. **Verwitterung durch Desoxydation (Abgabe von Sauerstoff).**

Da, wo organische Materien bei Abschluß der Luft sich zersetzen, wird der Sauerstoff theils aus der organischen Substanz selbst, theils aber auch von andern sauerstoffhaltigen Körpern genommen. Letztere sind entweder Basen, oder Salze mit Sauerstoffsäuren.

α. Desoxydation schwefelsaurer Salze (Eisenvitriol, Gyps, schwefelsaures Kali, Natron, schwefelsaure Magnesia).

Die Desoxydation beruht hier darin, daß sowohl der Säure, als der Base Sauerstoff entzogen wird, wodurch Schwefelmetalle entstehen. Daher rührt z. B. die große Menge von Schwefelcalcium $= SCa$ in den Braunkohlenlagern. In den Braunkohlen ist bekanntlich der Gyps eine häufige Erscheinung. Er gibt zur Verwesung der Braunkohlen 4 Aeq. Sauerstoff her; es entsteht Schwefelcalcium $SO_3, CaO - 4O = SCa$. In den Braunkohlenwerken der Wetterau findet man große Knollen von Schwefelcalcium, welche sich aus Gyps gebildet haben.

An der Luft oxydiren sich die Schwefelmetalle wieder zu schwefelsauren Salzen; ist aber Kohlensäure und Wasser zugegen, so werden sie zersetzt. Es entsteht ein kohlensaures Salz und Schwefelwasserstoff, z. B.

$$\begin{matrix} S\ Ca \\ (\ \ )\ CO_2 \\ H\ \ O \end{matrix}$$

Kommt der Schwefelwasserstoff mit der Luft zusammen, so wird der Schwefel abgeschieden, indem gleichzeitig Wasser sich bildet

$$\begin{matrix} H \\ S\ ) \\ O \text{ der Luft.} \end{matrix}$$

In vielen Braunkohlenbergwerken der Wetterau findet man oft fingerhohe Schichten von Schwefel, welche auf die angegebene Weise entstanden sind.

β. Entstehung des Raseneisensteins.

Wir handeln die Bildung des Raseneisensteins oder Sumpferzes hier ab, weil sie durch einen Desoxydationsprozeß eingeleitet wird. Der Raseneisenstein gehört der Alluvialgruppe an und bildet sich gegenwärtig noch, wie Hausmann, wenigstens für Schweden, nachgewiesen hat. Der Raseneisenstein kommt sowohl in einzelnen Brocken und Blöcken, als auch in ganzen Bänken vor,

welche entweder die Oberfläche des Bodens bilden, oder in geringer Tiefe unter demselben hinstreichen. Stellenweise ist der Raseneisenstein sehr verbreitet, in Norddeutschland, z. B. in Mecklenburg gibt es ganze Districte, deren Bestände auf Raseneisenstein ruhen. Vorzüglich findet er sich in Torfmooren und Sümpfen, daher auch die Benennung: Sumpferz. Nicht selten bietet der Raseneisenstein das Verkittungsmittel für Conglomerate dar. In Schweden, im Odenwalde u. s. w. benutzt man ihn auf Eisen.

Die wesentlichen Bestandtheile des Raseneisensteins sind Phosphorsäure und Eisenoxyd. Phosphorsäure findet sich überall da, wo thierische oder pflanzliche Organismen verwesen, wie also vorzugsweise in Sümpfen. Das Eisenoxyd dagegen wird durch fließendes Wasser in der Form von doppelt kohlensaurem Eisenoxydul zugeführt.

Das Eisenoxydul findet sich in der Natur viel seltener, als das Eisenoxyd. Letzteres geht mit Kohlensäure keine Verbindung ein, dazu muß es erst zu Oxydul reduzirt werdeu. Wie Kindler beobachtet hat, sind es vorzüglich organische Substanzen, welche dem Eisenoxyd einen Theil seines Sauerstoffs entziehen. Er bemerkte, daß die durch Eisenoxyd gelb gefärbte Erde an Abhängen da eine hellere Farbe besaß, wo Wurzeln sie durchzogen und leitete hieraus den richtigen Schluß ab, daß das dunklere Eisenoxyd seinen Sauerstoff zur Verwesung der Wurzeln abgegeben habe, in Folge dessen das seltene Eisenoxydul entstand:

$$\begin{matrix} FeO \\ FeO \end{matrix}\ O — \text{Org. Substanz.}$$

Aus einem Aeq. Eisenoxyd erhält man also hier 2 Aeq. Eisenoxydul.

Die Wirkung 1—2 Linien dicker Wurzeln erstreckte sich auf einen Kreis von 1—2 Zoll Durchmesser.

Kommt nun Kohlensäure und Wasser mit dem Eisenoxydul in Berührung, so entsteht doppeltkohlensaures Eisenoxydul = $2\,CO_2,\ FeO$, welches, wiewohl in geringer Menge, in Wasser löslich ist. Gelangt dieses in Sümpfe oder an andere Orte, an denen Phosphorsäure sich vorfindet, so verbindet sich letztere mit dem Eisenoxydul, wobei dieses gleichzeitig Sauerstoff aufnimmt und wieder in Eisenoxyd übergeht. So entsteht also phosphorsaures Eisenoxyd. Zu diesem kommen noch Kieselsäure, etwas Thonerde und Wasser

Analysen von Raseneisenstein.

(a und b zwei Varietäten aus der Nähe von Leipzig; sie wurden untersucht von Erdmann).

	a	b
Eisenoxyd, Manganoxyd	51.00	60.50
Phosphorsäure	10.99	9.57
Kieselsäure	9.20	5.95
Thonerde	0.41	0.73
Wasser	28.80	23.95
	100.50	100.70

D. Verwitterung durch Kohlensäure.

a. Allgemeines.

Mittelst der starken Säuren, welche wir in den Labaratorien darstellen, und unter Anwendung von hohen Temperaturen sind wir im Stande, fast sämmtliche Mineralien und Gesteine in ihre einfacheren Bestandtheile zu zerlegen. In der Natur finden sich diese Säuren in freiem Zustande theils gar nicht, theils in sehr geringer Menge und außerdem verdünnt mit Wasser vor. Dennoch erleiden die Gesteine dort die nämlichen Veränderungen, wie in unsern Labarotorien unter der Einwirkung starker Säuren. In der Natur werden diese durch die Kohlensäure vertreten, welche in ihrem Verhalten gegen die Metalle als die schwächste aller Säuren bekannt ist. Was aber der Kohlensäure an Intensität fehlt, das bewirkt sie denn doch in der Länge der Zeit; dazu kommt noch, daß sie über alle Theile der Erde verbreitet ist. Die Luft enthält an und für sich einen constanten Gehalt an dieser Säure; was die Pflanzen bei ihrer Ernährung davon absorbiren, wird durch den Verwesungs- oder Verbrennungsprozeß wieder hinreichend ersetzt. Die Kohlensäure verbreitet sich nach dem Gesetz der Diffusion der Gase in alle Regionen des Luftkreises; sie findet sich selbst auf den höchsten Bergen. In Wasser gelöst dringt sie in die feinsten Spalten der Gesteine ein und bewirkt so eine Zersetzung selbst im Innern der Gebirge. Sie ist ohne Zweifel das wichtigste Agens der Verwitterung.

b. Einwirkung der Kohlensäure auf kohlensauren Kalk.

Die Verbreitung des kohlensauren Kalks wurde bereits S. 79. betrachtet. Wir sahen weiter, daß in 10601 Theilen kohlensäurefreien Wassers 1 Theil kohlensaurer Kalk sich löst. Bei weitem löslicher ist der kohlensaure Kalk in kohlensäurehaltigem Wasser. Bischof hat darüber Versuche angestellt. Auf der Bleiweißfabrik zu Burgbrohl wurde Kohlensäure in große mit 4—6 Ohm Wasser gefüllte Bütten geleitet, in welche überschüssiger Kalk geschüttet war. Bischof erhielt folgende Resultate.

Angewandter Kalk	Dauer des Durchströmens der Kohlensäure	In 10000 Theilen Wasser waren neutraler kohlensaurer Kalk aufgelöst
1. Kreide	1 Stunde	11.15 Theile
2. desgl.	2 „	9. 1 „
3. desgl.	3 „	10.11 „
4. durch Fällung aus einem Kalksalze dargestellter Kalk	3—4 „	28.09 „

Aus diesen Versuchen ergibt sich, daß die Löslichkeit des Kalkes in kohlensäurehaltigem Wasser von seiner Zertheilung abhängt. Der durch Fällung aus einem Kalksalz dargestellte Kalk hat die Gestalt eines Pulvers, er besitzt eine sehr große Oberfläche, welche mit der Kohlensäure in Berührung treten kann. — Für die Kalke, wie sie in der Natur vorkommen, kann man das

Löslichkeitsverhältniß der Kreide gelten lassen und annehmen, daß in
10,000 Theilen kohlensäurehaltigen Wassers 10 Theile neutraler kohlensaurer Kalk sich lösen.

Uebrigens löst sich nicht der neutrale kohlensaure Kalk als solcher, in dem Verhältniß von $\frac{1}{1000}$, sondern der doppeltkohlensaure Kalk. In Berührung mit der in Wasser aufgelösten Kohlensäure nimmt nämlich der einfach kohlensaure Kalk noch ein Aeq. Kohlensäure auf.

Wären die 4 Millionen Pfund Regenwasser, welche im Laufe eines Jahres auf einen hess. Morgen (¼ Hectare) niederfallen, vollkommen mit Kohlensäure gesättigt (was indessen nicht der Fall ist), so würden dieselben 4000 Pfund kohlensauren Kalk aufzulösen vermögen.

Tropfsteine. Wenn mit Kohlensäure geschwängertes Wasser durch geborstene Kalkfelsen durchsickert, so löst es, wie erwähnt, Kalk auf und erweitert so immer mehr die Spalten, durch die es fließt. Nach und nach verdunstet es aber wieder und mit dem sich verflüchtigenden Wasser geht die gelöste Kohlensäure fort; der Kalk schlägt sich an andern Stellen des Felsens nieder. Diese Absätze vergrößern sich durch das Hinzukommen von neuen Kalklösungen; so bilden sich die Stalactiten oder Tropfsteine in den Höhlen (Baumanns- und Bielshöhle im Harz). Gewöhnlich ist der Boden über solchen Höhlen mit einer Decke von Pflanzen bekleidet, welche, wenn sie verwesen, Kohlensäure entwickeln, die vom Regen- und Schneewasser aufgenommen wird. In vielen Gesteinen, besonders denjenigen, welche Kalk enthalten, wie Basalt, Syenit, Grauwacke u. s. w. findet man die Absonderungs- und Schichtklüfte mit kohlensaurem Kalk bekleidet, oft sogar gänzlich ausgefüllt. Diese Kalkabsätze sind in ähnlicher Weise wie die Tropfsteine, entstanden.

Kalktuff und Kalksinter. Viele Quellen besitzen schon bei ihrem Erscheinen auf der Erdoberfläche einen Gehalt an doppeltkohlensaurem Kalk, der, wenn das Wasser verdunstet und wenn mit diesem das eine Aequivalent Kohlensäure entweicht, als neutraler kohlensaurer Kalk sich niederschlägt.

$$\frac{CO_2 + CaO}{|CO_2 + \text{Wasser}|}$$

So entstehen Kalktuff und Kalksinter. Wie G. Rose bemerkt, setzt sich derselbe aus kalten Quellen stets in der Gestalt des Kalkspaths, aus heißen dagegen in derjenigen des Arragonits ab.

Ungeheure Mengen von Kalksinter liefern die Carlsbader Quellen. Die 50° C. warme Quelle von San Filippo im Großherzogthum Toskana hat einen Bergrücken von 24 bis 30 Metern Höhe und einem Kilometer Länge von Kalksinter aufgehäuft. Bei Tivoli constituirt der Kalktuff (Travertin) Hügel von 120 bis 150 Metern; auch in Ungarn finden sich große Massen des Travertins. Nördlich von Euböa befindet sich eine Anzahl warmer Quellen, deren jede einen Hügel von Kalksinter um ihre Oeffnung abgesetzt hat. So hat sich ein kleiner Bergzug gebildet, der nahe an 20 Metern über das

Meer ansteigt. Von den Rogensteinen, welche gleichfalls durch Absatz von kohlensaurem Kalk aus Quellen entstanden sind und noch entstehen, haben wir schon früher gehandelt.

Brunnen- und Flußwasser. Alle Gewässer haben einen Gehalt an kohlensaurem Kalk. Dieser ist als doppeltkohlensaures Salz in Lösung. Da der Kalk so weit verbreitet ist und auch die Kohlensäure nirgends fehlt, so sind überall die Bedingungen vorhanden, unter denen die Gewässer Kalk aufnehmen können.

Am größten ist der Kalkgehalt in dem stehenden Wasser von Brunnen. Von jenem rühren die Bodenabsätze in den Kochgeschirren her, die man gemeinhin irriger Weise als Salpeter bezeichnet. Diese Absätze sind nichts anders, als kohlensaurer Kalk, welcher durch die Kohlensäure des Brunnenwassers gelöst war, aber durch die beim Kochen stattfindende Wallung zugleich mit der Kohlensäure ausgetrieben wurde. Das Kochen bietet daher ein Mittel dar, um ein Wasser von Kalk zu befreien. Es wird in der Bierbrauerei nicht selten angewandt. Kalkhaltige Wasser nennt man harte, weil der Kalk mit den Seifen beim Waschen eine unlösliche Verbindung eingeht. In solchem Wasser kochen sich Hülsenfrüchte nur schwierig weich, denn auch mit dem Legumin (Casein) bildet der Kalk eine feste Verbindung. Säuerlinge sind etwas reicher an Kalk, als süße Wasser. Bischof hat 33 Säuerlinge in der Eifel untersucht und darin bis 0,0006 Theile Kalk gefunden.

Die Flüsse werden durch die Quellen gespeist und erhalten daher aus diesen Kalk. Allein da das Flußwasser beständig und meist in rascher Bewegung ist, so wird die Kohlensäure ausgetrieben und der unlösliche neutrale kohlensaure Kalk muß zu Boden sinken. Daher erklärt sich der geringe Kalkgehalt des Flußwassers. So enthält z. B. das bei Emmerich geschöpfte Rheinwasser noch nicht $\frac{1}{100000}$ an kohlensaurem Kalk. Je weiter ein Fluß in seinem Lauf fortschreitet, um so mehr nimmt sein Kalkgehalt ab.

Die Mengen von Kalk, welche durch die Quellen den Flüssen zugeführt werden, sind nicht unbedeutend. Bischof hat darüber interessante Berechnungen angestellt. Im Wasser der Pader, in welcher sich die sämmtlichen Paderquellen vereinigt haben, fand B. $\frac{1}{3959}$ seines Gewichts kohlensauren Kalk. Nach angestellten Messungen beträgt die Menge des in einer Minute fortfließenden Wassers dieses Flusses 1074450 Pfund, worin also 271,4 Pfund kohlensaurer Kalk enthalten sind. Hieraus berechnet sich, daß dieser Fluß in einem Jahre einen Kalkwürfel von nahe 93 Fuß Seite dem Gebirge entzieht. Aus der Wasserergiebigkeit der Lippe und Alme und deren Kalkgehalt ($\frac{1}{4415}$ und $\frac{1}{5552}$) berechnet sich, daß diese beiden Flüsse dem Kalkgebirg jährlich einen Würfel kohlensauren Kalks von wenigstens 51½ Fuß Seite entziehen.

Das Meerwasser erhält seine Mineralsalze ohne Zweifel zum größten Theil durch die Flüsse.

Anhang. Bildung des Dolomits.

Obgleich der Dolomit nicht dem Alluvium, sondern früheren geologischen Formationen angehört, so wollen wir seine Bildung doch hier abhandeln, weil sie gleichsam auf einem Verwitterungsprozesse beruht, hervorgerufen durch die Einwirkung der Kohlensäure auf magnesiahaltige Kalke.

Der Dolomit ist ein Doppelsalz, bestehend aus kohlensaurer Kalkerde und kohlensaurer Magnesia, nach der Formel CO_2, CaO + CO_2, MgO. Das Zerissene, Aufgeblähte, Zerstörte in der Structur des Dolomits hat von jeher die Geologen beschäftigt. Man schien Zweifel darüber zu hegen, ob der Dolomit eine neptunische Bildung sei, denn der ganze Character der Dolomitgebirge deutet mehr auf ein Entstehen unter Beihülfe des Feuers. Leopold von Buch gab diesen Vermuthungen einen bestimmten Ausdruck (Abhandlungen der Academie der Wissenschaften zu Berlin aus den Jahren 1822 und 1823); er erklärte den Dolomit für einen Kalkstein, welcher durch Magnesiadämpfe, entwickelt aus den Augitporphyren, in ein neues Gestein, den Dolomit, umgewandelt worden sei. Die Theorie L. von Buch's machte großes Aufsehen und fand anfangs viele Anhänger, später aber eben so viel Widerspruch. Man wandte mit Recht ein, daß die Talkerde nicht verflüchtigt werden könne und daß die Trennung derselben von der Kieselverbindung im Melaphyr und die nachherige Vereinigung mit dem kohlensauren Kalk zwei Erscheinungen seien, von welchen die eine die andere ausschließe. Verfolgt man die Ansicht von Buch's, so muß angenommen werden, daß ein Aeq. Kalkerde sich verflüchtigt habe und daß an deren Stelle 1 Aeq. Magnesia getreten sei. Hier läßt sich allerdings fragen, ob denn die Hitze, welche die Verflüchtigung der Kalkerde bewirkte, gestattet habe, daß sämmtliche Kohlensäure zurückbleibe. Bekanntlich entweicht die Kohlensäure beim Kalkbrennen schon in einer Temperatur, bei welcher die Kalkerde sich unverändert erhält; man kann aus kohlensaurem Kalk mittelst der Hitze wohl die Kohlensäure, aber nicht die Kalkerde verflüchtigen.

Es bleibt daher immer viel wahrscheinlicher, daß der Dolomit auf nassem Wege entstanden sei. Wenn ein mit Magnesia reichlich (bis zu 10%) versehener Kalk, wie solcher häufig vorkommt, der Einwirkung von kohlensäurehaltigem Wasser ausgesetzt ist, so wird sowohl die Kalkerde, als auch die Magnesia aufgelöst; aus der Lösung krystallisirt beim Verdunsten des Wassers neben kohlensaurem Kalk (a) ein Salz, welches mehr Magnesia enthält, als das ursprüngliche Mineral. Dieses Salz ist der Dolomit. Neue Ueberströmungen von kohlensäurehaltigem Wasser lösen nun den kohlensauren Kalk (a) auf und führen ihn fort, während der Dolomit, als ein sehr schwer lösliches Salz zurückbleibt. Auf diese Weise ist höchst wahrscheinlich der Dolomit entstanden, und es erklärt sich auch durch den Krystallisationsprozeß die oben bezeichnete eigenthümliche Structur des Gesteins.

Der Dolomit verwittert langsam, viel langsamer, als der kohlensaure Kalk.

c. Einwirkung der Kohlensäure auf phosphorsaure Salze.

Die phosphorsauren Mineralsalze kommen in der Natur in geringer Menge vor; am häufigsten findet man sie im Raseneisenstein, seltener als Apatit und Wawellit.

Der Apatit ist eine Verbindung von 3 Aeq. basisch phosphorsaurem Kalk mit 1 Aeq. Chlorcalcium oder mit Fluorcalcium. Die Formel ist demnach

für den Chlorapatit: $Ca\,Cl + 3\,(3CaO,\ PO_5)$

für den Fluorapatit: $Ca\,Fl + 3\,(3CaO,\ PO_5)$

Manchmal ist auch Chlorcalcium mit Fluorcalcium gemengt.

Nach der Formel berechnet sich die prozentische Zusammensetzung

des Chlorapatits		des Fluorapatits	
Chlorcalcium	10.62	Fluorcalcium	7.69
Phosphorsaurer Kalk	89.38	Phosphorsaurer Kalk	92.31

Nach Bischof löst sich

1 Theil Apatit	in 393000	Thl. mit Kohlens. gesätt. Wassers.
" " " nach starkem Schütteln	in 96570	" " " " "

Im Wawellit ist die Phosphorsäure an Thonerde gebunden; der Phosphorsäuregehalt beträgt im Durchschnitt 35 Prozente. Nach Bischof ist die phosphorsaure Thonerde in kohlensäurehaltigem Wasser, wiewohl in äußerst geringer Menge, löslich.

Die Knochen enthalten über 50 Prozente basisch phosphorsauren Kalk $(3\,CaO,\ PO_5)$ in Verbindung mit phosphorsaurer Magnesia.

Bischofs Untersuchungen über die Löslichkeit des phosphorsauren Kalkes in den Knochen ergaben:

1 Theil gebrannte Knochen, welche mehrere Jahre gelegen und wieder Kohlensäure angezogen hatten, gepulvert, brauchten zur Lösung	2823	Thl. mit Kohlens. gesätt. Wassers.
1 Theil frische Ochsenknochen, geschabt,	4610	" " " " "
" " desgl., nachdem sie 18 Tage lang in mit Kohlensäure gesättigtem Wasser gelegen hatten	4030	" " " " "
" " desgl., als Hobelspähne, eben so lange in Wasser gelegen,	2981	" " " " "
" " gekochte Ochsenknochen, eben so lange in Wasser gelegen,	3643	" " " " "

Zum Aufschluß der Knochen trägt vorzüglich die im Boden aus verwesenden Pflanzen, so wie die aus dem faulenden Knochenknorpel sich entwickelnde Kohlensäure bei.

Da die Asche aller Pflanzen Phosphorsäure enthält, so müssen wir schließen, daß auch jede Ackererde einen Gehalt an phosphorsauren Salzen besitze. Genaue Untersuchungen haben denn auch nachgewiesen, daß wohl kein Ge-

stein, welches zur Bildung der Ackererde beitragen kann, frei von Phosphorsäure ist; speciell wurde sie unter Andern in der Kreide, im Muschelkalk, Dolomit, in verschiedenen Varietäten von kohlensaurem Kalk und Dachschiefer nachgewiesen. Wenn, wie vielfach angenommen wird, die kohlensauren Kalke der neptunischen Formationen Korallen- und Infusoriengebilde sind, so erklärt sich der Phosphorsäuregehalt dieser Kalke sehr leicht, denn in den Infusorien hat H. Rose phosphorsauren Kalk mit Bestimmtheit nachgewiesen und in den Korallen ist nach Silliman der Phosphorsäuregehalt gleichfalls nicht unbedeutend.

	Poriten	Madreporen	Astreen
Kohlensaurer Kalk	89,9—95,4	92,8—95,1	91,1—96,6
Phosphate u. Fluorüre	0,7— 2,1	0,5— 0,9	0,3— 2,1
Organische Materie	2,1— 9,4	4,3— 6,6	3,2— 8,3

d. **Einwirkung der Kohlensäure auf eisenhaltige Fossilien.**

Das Eisen ist in der Natur überaus verbreitet, es kommt in allen krystallinischen und in allen sedimentären Gesteinen vor. Vom Basalt z. B. bildet es als Magneteisen einen integrirenden Bestandtheil; das Bindemittel vieler Sandsteine und Conglomerate ist Eisen. Auch findet es sich stock- und gangförmig in sehr großen Lagen, oft bestehen ganze Berge nur aus Eisensteinen. Der Raseneisenstein überdeckt, wie wir gesehen haben, ganze Länderstriche. Die bemerkenswerthesten Vorkommenheiten des Eisens sind:

1. Eisenoxyd = Fe_2O_3, als Eisenglanz, Eisenglimmer, Rotheisenstein, Rotheisenocker.
2. Eisenoxydhydrat = Fe_2O_3 + Wasser. (Die Anzahl der Wasseräquivalente schwankt bei den verschiedenen Varietäten), als Brauneisenstein, Brauneisenocker, Gelbeisenstein; Bohnerz.
3. Schwefeleisen (verschiedene Mengen Eisen und Schwefel), als Magnetkies, Eisenkies, Strahlkies u. s. w.
4. Schwefelsaures Eisenoxydul = SO_3, FeO + 6 OH oder 7 OH = Eisenvitriol.
5. Kohlensaures Eisenoxydul = CO_2 FeO als Eisenspath und Sphärosiderit.
6. Phosphorsaures Eisenoxyd, im Raseneisenstein.

Diejenigen von diesen Verbindungen, welche, wie der Eisenvitriol, nicht schon an und für sich in reinem Wasser löslich sind, werden durch Kohlensäure aufgeschlossen (als doppelt kohlensaure Salze) oder sind doch in kohlensäurehaltigen Wasser löslich. Damit übrigens das Eisenoxyd in Verbindung mit der Kohlensäure treten könne, muß es zuerst zu Oxydul reduzirt werden, denn die Verbindung von kohlensaurem Eisenoxyd existirt nicht. Die Desoxydation übernehmen verwesende organische Substanzen.

Um die Löslichkeit des doppeltkohlensauren Eisenoxyduls zu bestimmen, stellte Bischof ähnliche Untersuchungen, wie mit dem kohlensauren Kalk an. Sphärosiderit wurde gepulvert, in mehrere Ohm Wasser eingerührt und 9

Stunden lang Kohlensäure durchgeleitet. Auf diese Weise hatten 1000 Theile Wasser 6,0755 Theile kohlensaures Eisenoxydul als Bicarbonat aufgelöst.

Das doppeltkohlensaure Eisenoxydul wird durch Gewässer fortgeführt. So finden wir es denn auch in den meisten Brunnenwassern und in vielen Mineralquellen (Stahlwassern). In Berührung mit der Luft, oder wenn das Wasser verdunstet, entweicht zuerst 1 Aeq. Kohlensäure und es schlägt sich einfach kohlensaures Eisenoxydul = FeO, CO_2 nieder. Dieses verliert unter gleichzeitiger Oxydation die Kohlensäure und nimmt dann noch Wasser auf, wodurch Eisenoxydhydrat entsteht. Letzteres findet sich häufig als Bodensatz in Gräben; oft schlägt sich an den Ausflußmündungen der Quellen so viel davon nieder, daß diese verstopft werden. (Ludwigsbrunnen bei Großkarben.)

3. Verwitterung des Feldspaths, Glimmers, der Hornblende, des Augits, Talks und der Kieselgesteine.

A. Verwitterung des Feldspaths.

a. Wichtigkeit des Feldspaths.

Von allen Mineralien hat der Feldspath den bedeutendsten Einfluß auf die Bildung des Bodens gehabt, weil er in fast allen Gesteinen und dazu in großen Quantitäten vorkommt. Er findet sich in allen plutonischen Eruptivgesteinen; von den krystallinischen Schiefergesteinen enthalten ihn Thonschiefer und Gneiß. Die Grauwacke, der alte rothe Sandstein, das alte rothe Todtliegende bestehen zum größten Theil aus Fragmenten plutonischer, feldspathführender Gesteine. Viele Sandsteine enthalten ein thoniges Bindemittel, welches von der Verwitterung des Feldspaths herrührt. Letzteres gilt auch von dem meisten Thon und Lehm in Alluvium und andern geognostischen Gruppen.

b. Zusammensetzung des Feldspaths.

Die Kernform des Feldspaths ist die schiefe rhombische Säule, welche von sechs rhombischen Flächen begrenzt wird.

Der Feldspath ist ein Doppelsalz, bestehend aus einem kieselsauren Alkali (Kali, Natron), oder kieselsaurem Kalk und aus kieselsaurer Thonerde. Außerdem enthält der Feldspath noch geringere Mengen von Eisen-, Mangan- und Talkerde. In neuerer Zeit hat man auch einen unbedeutenden Gehalt an Phosphorsäure darin gefunden. Die wichtigsten Arten des Feldspaths sind:

α. Der Orthoklas.

Man bezeichnet ihn gewöhnlich als Kalifeldspath, obgleich nicht ganz mit Recht, weil in ihm auch etwas Natron vorkommt. Bemerkenswerthe Varietäten des Orthoklases sind:

1) der gemeine Feldspath, ausgezeichnet durch perlmutterartigen Glasglanz oder durch Silberschein.
2) der glasige Feldspath, welcher als Einsprengling in einigen plutonischen Gesteinen (z. B. dem Trachyt) auftritt.

Die ideale Zusammensetzung des Orthoklases ist:

Kieselsäure	65.21
Thonerde	18.13
Kali	16.66
	100.00

hiefür berechnet sich die Formel

$$Si\,O_3, KO + 3\,Si\,O_3, Al_2\,O_3$$

β. Der Albit,

auch wohl Natronfeldspath genannt. Neuere Untersuchungen haben übrigens auch im Albit Kali nachgewiesen. Von Farbe ist der Albit weiß, auch röthlich oder grau. Er ist durchsichtig bis durchscheinend. Von dem Orthoklas unterscheidet er sich auffallend durch federartige Streifung seiner Blätterlagen.

Die ideale Zusammensetzung des Albits ist:

Kieselsäure	69.09
Thonerde	19.22
Natron	11.69
	100.00

Dieser Zusammensetzung entspricht die Formel

$$Si\,O_3, NaO + 3\,Si\,O_3, Al_2\,O_3$$

γ. Labrador,

auch Kalkfeldspath genannt, obwohl er neben Kalk auch Natron und etwas Kali enthält. Er führt seine Benennung von der Küste Labrador, wo er in großen Blöcken vorkommt. Durch Säuren läßt sich der Labrador, wiewohl nicht ganz vollständig, zersetzen.

Die ideale Zusammensetzung des Labradors ist

Kieselsäure	53.42
Thonerde	29.71
Kalkerde	12.35
Natron	4.52
	100.00

Hierfür berechnet sich die Formel:

$$Si\,O_3, Na\,O + Si\,O_3, Al_2\,O_3$$
$$+ 3\,(Si\,O_3, Ca\,O + Si\,O_3, Al_2\,O_3)$$

δ. Oligoklas (oder Natronspodumen).

Der Oligoklas war früher weniger beachtet, weil man ihn mit den andern Feldspathen verwechselt hatte; neuere Beobachtungen haben ergeben, daß er in vielen Gesteinen vollkommen die Rolle des gemeinen Feldspaths einnimmt.

Aus den vorhandenen Analysen berechnet sich die Formel

$$Si\,O_3, Na\,O + 2\,Si\,O_3, Al_2\,O_3.$$

und hiernach ist die ideale Zusammensetzung des Oligoklases

Kieselsäure	62.64
Thonerde	23.23
Natron	14.13
	100.00

ε. Rückblick.

Stellen wir die für die Feldspathe erhaltenen Formeln zusammen, so erhalten wir

Orthoklas $= Si\,O_3,\ KO + 3\ Si\,O_3,\ Al_2\ O_3.$
Albit $= Si\,O_3,\ Na\,O + 3\ Si\,O_3,\ Al_2\ O_3.$
Labrador $= Si\,O_3,\ Na\,O + Si\,O_3,\ Al_2\ O_3 + 3 (Si\,O_3,\ Ca\,O + Si\,O_3.\ Al_2\ O_3)$
Oligoklas $= Si\,O_3,\ Na\,O + 2\ Si\,O_3,\ Al_2\ O_3.$

c. **Der bei der Verwitterung des Feldspaths bleibende Rückstand ist Thon.**

Wir haben so eben gesehen, daß die Feldspathe Thonerde enthalten. In der Natur kommt diese außerdem in dem Thon vor, dessen reinste Varietäten die Porzellanerde und der Kaolin sind. Die meisten Thone stammen von zersetzten Feldspathen ab. Hiefür sprechen folgende Gründe:

α. Man hat Feldspathe aufgefunden, welche ganz die Krystallform dieses Minerals besaßen, aber in ihrer Zusammensetzung in so weit verändert waren, als zwar die Quantität der Thonerde sich gleich geblieben war, dagegen der Gehalt an Kieselsäure, Alkalien oder Kalk abgenommen hatte. Die Zusammensetzung dieser Feldspathe hatte sich derjenigen des Kaolins genähert.

β. In manchen Gegenden, welche vorzügliche Kaolinlager enthalten, wie z. B. bei Aue in der Nähe von Schneeberg in Sachsen kann man den Uebergang des Feldspaths in Thon sehr deutlich wahrnehmen. Die obern Lagen des Bodens sind fast reiner Kaolin, dann kommen Schichten, welche sich durch größern Gehalt an Kieselsäure und Alkalien auszeichnen, hierauf zersetzter Feldspath in der Krystallform dieses Minerals. — Ein ähnliches Vorkommen hat der Verf. in den Syenitlagern des Odenwaldes (z. B. bei Neunkirchen) und im Granit (bei Darmstadt), so wie im Harz (am Brocken) beobachtet. Er konnte den Uebergang des Feldspaths in dieses Gestein in Thon und Lehm (eine Abänderung des Thons) genau verfolgen. Bei Neunkirchen bestehen 1—2 Fuße der obersten Bodenschichte aus Lehm, dann folgen zerreiblicher Feldspath und Hornblende, hierauf die nämlichen Mineralien, aber in dickern Brocken; zu unterst steht der Syenitfels, obwohl schon etwas zersetzt, aber doch noch in solcher Consistenz an, daß er nur mit einigem Kraftaufwande in Schollen getrennt werden kann. — Besonders auffallend zeigt sich der Uebergang des Feldspaths in Thon auf Basaltgebirgen (Vogelsberg, Westerwald u. s. w).

Das stellenweise sehr ausgedehnte Vorkommen von Sandlagern, an denen man deutlich bemerken kann, daß sie ihren Ursprung von feldspathführenden krystallinischen Gesteinen in der Nähe der Sandablagerungen ableiten,

deutet darauf hin, daß der Feldspath entfernt worden sei. Wenn wir nun weder in näherer, noch in fernerer Umgebung dieses Sandes Feldspathlager, dagegen große Thonanhäufungen finden, so müssen wir schließen, daß der Feldspath aufgelöst und als Thon fortgeführt worden sei. — So enthält z. B. der Diluvialsand der Bergstraße Quarz und den nämlichen dunkeln Glimmer, welcher den Granit des Odenwaldes und besonders den in der Umgegend von Darmstadt auszeichnet. Dieser Sand ist also gewiß aus dem Granit entstanden. Aber wohin ist der Feldspath gekommen? Er findet sich ebenfalls nicht weit von Darmstadt als Thon in großen Ablagerungen.

γ. Die aus feldspathführenden Gesteinen hervorkommenden Quellen enthalten Natron, Kali, Kalk, Kieselsäure. Zieht man diese Stoffe vom Feldspath ab, so bleibt Thon zurück.

d. Zusammensetzung des Thons.

Es ist eben angedeutet worden, daß Kaolin das endliche Product der Zersetzung der Feldspathe sei. Indessen findet man den Kaolin nicht so häufig. Thon und Lehm dagegen treten fast überall und in großen Massen auf; der fruchtbarste Ackerboden besteht zumeist aus Lehm. Wir können nun Thon und Lehm als vermittelnde Glieder zwischen Feldspath und Kaolin ansehen. Wir werden alsbald erläutern, warum der Kaolin so selten in größern Lagern erscheint.

Forchhammer hat für den Kaolin die Formel

$$3 Al_2O_3,\ 4 SiO_3 + 6\ OH$$

aufgestellt. Nach derselben berechnet sich die prozentische Zusammensetzung in ziemlicher Uebereinstimmung mit den Analysen Forchhammers und Berthiers:

Kieselsäure	47.028
Thonerde	39.233
Wasser	13.739
	100.000

Uebrigens enthalten selbst sehr reine Kaoline und Porzellanerden immer noch Antheile von Eisen, Mangan, Kalk, Bittererde und Alkalien.

e. Vergleichung des Kaolins mit dem frischen Feldspath.

Nachdem wir uns dafür entschieden haben, daß der Feldspath bei seiner Zersetzung zuletzt in Kaolin übergehe, so haben wir nur die Formeln dieser beiden Mineralien von einander abzuziehen, um die Producte zu erhalten, welche bei der Verwitterung des Feldspaths frei werden.

Da wir annehmen müssen, daß die Thonerde nicht aufgelöst werde, sondern im Rückstand bleibe, und da der Kaolin 3 Aeq. Thonerde enthält, so verdreifachen wir die Formel des Feldspaths.

$$3\ \text{Feldspath} = 3\ Al_2O_3,\ 9\ SiO_3 + 3\ KO,\ 3\ SiO_3$$
$$= 3\ Al_2O_3,\ 12\ SiO_3 + 3\ KO$$
$$1\ \text{Kaolin} = 3\ Al_2O_3,\ 4\ SiO_3$$
$$\text{es ist also fortgeführt worden}\quad 8\ SiO_3,\ 3\ KO$$

Die Verbindung 8 SiO_3, 3 KO ist in der Chemie unter dem Namen des Wasserglases bekannt. Aus der Vergleichung des Kaolins mit dem Feldspath geht nun hervor, daß bei der Umwandlung des letztern in erstern nicht blos die mit dem Alkali verbundene, sondern auch ein Theil der zur Thonerde gehörigen Kieselsäure entfernt wird. Der Kaolin bildet sich also nicht etwa in der Weise, daß einfach kieselsaures Kali von der neutralen kieselsauren Thonerde des Feldspaths sich trennt. Hierbei ist es jedoch aus Gründen, welche später entwickelt werden, angemessen, zu unterstellen, daß zur Bildung des Kaolins keine von der mit dem Kali verbundenen Kieselsäure verwandt werde, sondern daß der Kaolin lediglich aus der kieselsauren Thonerde durch Austreten eines Theils der Kieselsäure und Aufnahme von Wasser entstanden sei.

f. **Vergleichung unvollständig zersetzten Feldspaths mit frischem Feldspath.**

Wir haben bisher das letzte Zersetzungsproduct des Feldspaths, den Kaolin, mit dem frischen Feldspath verglichen. Es muß von Interesse sein, auch die Zwischenstufen in's Auge zu fassen.

Crasso hat mehrere Arten unvollständig verwitterter Feldspathe (aus dem rothen Porphyr von Ilmenau, dem Granit von Karlsbad nnd dem Syenit von Geising bei Altenberg) untersucht. Um Crasso's Analysen mit denen von frischem Feldspath zu vergleichen, nahm Bischof an, die Thonerde in den zersetzten Krystallen sei noch die nämliche, wie diejenige des unzersetzten Feldspaths. Er reduzirte hiernach die Analyse von Crasso und zog das Resultat von der Zusammensetzung des Orthoklases ab. Man erhält alsdann und wenn man zugleich von den in geringerer Menge vorkommenden Nebenbestandtheilen des Feldspaths absieht:

	Orthoklas	Zersetzter Feldspath	bleibt Rest.
Kieselsäure	65.21	32.50	32.71 (8 Aequiv.)
Thonerde	18.13	18.13	0.00
Kali	16.66	2.60	13.86 (3 Aequiv.)
	100.00	53.43	46.57

Der Rest, welcher bei der Verwitterung entfernt wurde, besteht aus 8 SiO_3 + 3 KO, demnach aus Wasserglas, wie auch schon für die Umwandlung des Feldspaths in Kaolin gefunden wurde.

g. **Der Feldspath wird durch Kohlensäure zersetzt.**

Wir fragen jetzt, wodurch die Abscheidung des kieselsauren Kali's aus dem Feldspath bewirkt werde. Die Analogie deutet darauf hin, daß dies durch eine Säure geschehe, denn Labrador wird durch Salzsäure theilweise zersetzt, und auch die übrigen Feldspathe werden von der kochenden Säure etwas angegriffen.

In der Natur findet sich diese Säure nicht im freien Zustand; hier wird ihre Stelle von der Kohlensäure eingenommen. Dieser müssen wir in der That die Verwitterung des Feldspaths hauptsächlich zuschreiben. Zwar ist

die Kohlensäure von geringer momentaner Wirkung, aber sie vermag dennoch im Laufe der Zeit große Effecte hervorzubringen.

Bei der Zersetzung des Feldspaths durch Kohlensäure verbindet sich diese mit einem Theil des Alkali's, und es scheidet sich die Kieselsäure entweder als Hydrat ab (der Prozeß geht nur bei Gegenwart vom Wasser vor sich), oder sie vereinigt sich mit dem zurückbleibenden kieselsaurem Alkali, welches dann gleichfalls austritt.

Uebrigens darf man sich nicht denken, die Umwandlung des Feldspaths in Kaolin erfolge auf einmal, so daß bei der Berührung der Kohlensäure mit diesem Mineral sogleich sämmtliches kieselsaure Alkali ausgeschieden werde und der Kaolin zurückbleibe. Der Zersetzungsprozeß findet vielmehr nur ganz allmählig statt. Am besten begreift man diesen, wenn man die Formel des Feldspaths mehrmals anschreibt. Da aus 3 Aeq. Feldspath 8 SiO_3, 3 KO frei werden, so zerlegen wir die Kieselsäure der beiden letzten Aeq., sowie sie mit der Thonerde verbunden gedacht werden muß, in 2 SiO_3 und 1 SiO_3.

$$\begin{array}{l}
SiO_3, KO + Al_2\,O_3, 3\,SiO_3 \\
SiO_3, KO + Al_2\,O_3, 3\,SiO_3 \\
\underline{SiO_3, KO} + Al_2\,O_3, 3\,SiO_3 \\
SiO_3, KO \,|\, + Al_2\,O_3, 3\,SiO_3 \\
SiO_3, KO \,|\, + Al_2\,O_3, \,|\, 2\,SiO_3 \,|\, SiO_3 \\
SiO_3, KO \,|\, + Al_2\,O_3, \,|\, 2\,SiO_3\; SiO_3 \,|
\end{array}$$

Wir sehen also, daß, wenn auch bei einem Theil des Feldspaths die Kaolinbildung erfolgt, doch noch eine Portion unzersetzter Feldspath zurückbleibt. Je weiter die Verwitterung unter dem Einfluß der Kohlensäure vorschreitet, um so mehr nimmt die Quantität des Kaolins gegenüber dem unzersetzten Feldspath zu. Die zurückbleibende Verbindung wird also immer reicher an Thonerde und ärmer an kieselsaurem Alkali.

Man findet in der Natur fast keinen Kaolin, welcher ganz frei von Alkali wäre. Es muß daher derselbe als unvollständig zersetzter Feldspath angesehen werden, wenn auch der Zersetzungsprozeß schon sehr weit vorgeschritten ist. Dies gilt in noch höherem Maße vom gewöhnlichen Thon, wie er in der Ackererde vorkommt.

b. Verwitterung des Albits, Oligoklases und Labradors.

Der Zersetzungsprozeß, wie wir ihn bisher dargestellt haben, gilt hauptsächlich für den Orthoklas. Bei Albit, Oligoklas und Labrador finden übrigens die nämlichen Vorgänge statt, nur mit dem Unterschiede, daß die beiden ersteren vorzüglich Natron, der Labrador dagegen neben Natron auch Kalk abgibt. Indessen wird durch die Zersetzung des Labradors nur dann das Natron frei werden, wenn Kohlensäure in hinreichender Menge vorhanden ist. Im andern Falle löst sich blos der Kalk auf, weil dieser eine größere Verwandtschaft zur Kohlensäure besitzt. Daß der Kalk aus dem Labrador als Bicarbonat fortgeführt wird, brauchen wir nicht weiter auszuführen.

i. Die Zersetzbarkeit der Feldspathe nimmt zu mit ihrem Natrongehalt; Feldspathe, welche Natron und Kalk zugleich besitzen, sind besonders leicht aufschließbar.

Wenn wir uns ein Urtheil darüber bilden wollen, welche Arten von Feldspath am schnellsten aufgeschlossen werden, so müssen wir ihr Verhalten zu einer starken Mineralsäure prüfen. Die Wirkungen der Kohlensäure geben nämlich, weil sie nur in kleinem Maßstabe erfolgen, nicht augenblicklich einen deutlich wahrnehmbaren Effect; sie werden erst nach längerer Zeit sichtbar.

Orthoklas wird nur in feingepulvertem Zustande und nach monatelangem Kochen von Salzsäure angegriffen, Albit und Oligoklas widerstehen der Säure bei weitem nicht in dem Maße, wie Orthoklas. Labrador wird durch Salzsäure auch in der Kälte, jedoch nicht vollständig, zersetzt. Oligoklas enthält immer etwas Kalk (2—4%), obschon nicht so viel, als Labrador (12%). Hieraus geht denn die Richtigkeit des oben ausgesprochenen Satzes hervor.

In Uebereinstimmung hiermit stehen die Resultate der Untersuchuugen Struve's, welche zeigen, daß aus feldspathführenden Gesteinen vorzugsweise Natron extrahirt werde. Struve fand

	Kali	Natron
1) In einem Phonolith vom Rotheberge bei Brüx, im frischen Zustand	3.45%	9.70%
in demselben, verwittert	5.44 „	3.26 „
2) In einem andern Phonolith, frisch	3.10 „	6.69 „
in demselben, verwittert	6.68 „	3.80 „
3) In einem Basalt, frisch	1.35 „	7.35 „
in demselben, verwittert	2.62 „	2.31 „

k. Die übrigen Bestandtheile der Feldspathe

sind, wie vorhin angegeben, Magnesia, Mangan, Eisen, und Phosphorsäure. Da die Magnesia im Kaolin sich nicht mehr findet, so müssen wir schließen, daß sie aus dem Feldspath fortgeführt worden sei, und es liegt nichts näher, als anzunehmen, daß sie durch die in Wasser gelöste Kohlensäure in doppeltkohlensaure Magnesia verwandelt und dann vom Wasser aufgenommen worden sei. Das Magnesiabicarbonat ist etwas löslicher, als das Kalkbicarbonat; 10000 Theile Wassers lösen nämlich ungefähr 13 Theile neutrale kohlensaure Magnesia auf. Was das Eisen anlangt, so zeigen die wenigsten Feldspath-Analysen einen Gehalt an Eisenoxydul, indessen kann man annehmen, daß die meisten Feldspathe schon zum Theil verwittert sind (wobei ihr Eisen sich höher oxydirte) und daß bei der chemischen Analyse das Eisenoxydul oft für Oxyd genommen wurde, was um so weniger befremden kann, als der Aufschluß im Laboratorium in der Glühhitze erfolgt, bei welcher das Eisenoxydul in Oxyd übergeht. Es ist höchst wahrscheinlich, daß das Eisen im Feldspath ursprünglich als Oxydul enthalten ist. Wenigstens deuten die verschiedenen grünen und bläulichen Färbungen ganz frischer Feldspathe auf Eisen-

oxydul. Ist der Feldspath fleischfarben, so zeigt dies eine schon begonnene Oxydation an.

Merkwürdiger Weise beginnt die Oxydation der Feldspathkrystalle sehr häufig im Innern. Es bildet sich dort ein rother Punkt, der sich immer mehr vergrößert.

Auch das Mangan mag in dem frischen Feldspath nur in der Form von Oxydul enthalten sein. Als solches wird es, gerade wie das Eisenoxydul, von kohlensäurehaltigem Wasser aufgelöst und fortgeführt. Ist nicht genug Kohlensäure, dagegen Sauerstoff vorhanden, so geht das Manganoxydul in Manganoxydhydrat über. Dieses kann dann wieder durch organische Stoffe reduzirt werden.

Die Phosphorsäure ist im Feldspath entweder an Kalk oder an Thonerde gebunden. Die beiden phosphorsauren Salze lösen sich, wie oben angegeben, in kohlensäurehaltigem Wasser.

Anhang: Bildung der Zeolithe.

Unter den Zeolithen versteht man Mineralien, welche den Feldspathen nahe verwandt sind, sich aber von ihnen characteristisch durch einen bestimmten Wassergehalt unterscheiden. So ist z. B. der Mesolith als ein wasserhaltiger Labrador zu betrachten. Zieht man nämlich von dem Mesolith sein Wasser (12%) ab, so zeigt er fast vollständig die Zusammensetzung des Labradors:

	Labrador	Mesolith
Kieselsäure	53.42	53.35
Thonerde	29.71	29.67
Kalk	12.35	10.97
Natron	4.52	6.01
	100.00	100.00

Die Zeolithe sind überaus verbreitet; sie machen einen constanten Bestandtheil des Basaltes und Phonoliths aus. Auch finden sie sich sehr schön krystallisirt in den Drusenräumen, besonders des Basaltes.

Einige der wichtigsten Zeolithe sind: Pektolith, Analzim, Faujasit, Epistilbit, Chabasit, Mesotyp, Lehuntit, Brevezit, Thomsonit, Harmotom, Mesolith.

Ueber die Entstehung der Zeolithe hat man zwei Ansichten.

Einige nehmen an, das Wasser, welches die Zeolithe enthalten, sei mit den heißflüssigen Gesteinen, in denen die Zeolithe sich finden, aus dem Erdinnern heraufgekommen, aber durch den Druck der Gesteinsmasse selbst zurückgehalten und vor dem Entweichen in Dampfform geschützt worden.

Andere geben dies, und zwar aus dem Grunde nicht zu, weil die Zeolithe sich auch ganz an der Oberfläche der Felsarten finden, wo kein Druck vorhanden sein konnte, um das Wasser zu comprimiren. Die Anhänger dieser Ansicht sehen die Zeolithe gleichsam nur als Verwitterungsproducte der Feldspathe an. Das Wasser, sagen sie, sei von außen durch die feinen Risse, wie

solche von Bischof an vielen Gesteinen nachgewiesen worden sind, hineingekommen.

Die Zeolithe werden durch Salzsäure fast ganz zersetzt. Es ist demnach wahrscheinlich, daß Kohlensäure, wenn auch erst nach langen Zeiträumen, das Nämliche bewirke.

B. Verwitterung des Glimmers.

a. Vorkommen.

Der Glimmer, ein dem Feldspath nahe verwandtes Mineral, ist gleich diesem überaus verbreitet. Als wesentlicher Bestandtheil findet er sich im Granit, Glimmerschiefer und Gneiß, accessorisch im Syenit, außerdem im Thonschiefer, in der Grauwacke und in vielen Sandsteinen, die ihn zum Theil stratenförmig, zum Theil durch die ganze Masse hin zerstreut enthalten. Glimmer ist ein Bestandtheil der Grundmasse des Porphyrs, in welchem er auch als Einsprengling vorkommt. Die Parallelstructur vieler schieferiger Gesteine wird durch Lagen von Glimmer bedingt.

Nach ihrem Verhalten gegen das Licht unterscheidet man einaxigen und zweiaxigen Glimmer. Letzterer kommt häufiger vor, als ersterer.

b. der chemischen Zusammensetzung nach unterscheidet man:

α. Kaliglimmer.

β. Magnesiaglimmer.

γ. Lithionglimmer (Lepidolith).

Die Zusammensetzung des Glimmers ist außerordentlich schwankend. Deßhalb besitzt man auch keine allgemeine Formel, welche für alle Glimmersorten gleich gültig wäre. Nur beispielsweise führen wir die hypothetische Formel des Glimmers nach G. Rose an. Nach diesem ist Kaliglimmer $= KO, SiO_3 + 4 (Al_2 O_3, SiO_3)$, Magnesiaglimmer $= 3 (MgO, FeO, KO) SiO_3 + (Al_2 O_3, Fe_2 O_3) SiO_3$. Der Lepidolith hat für uns keine Bedeutung, weil er nur sehr selten vorkommt.

Wie die Feldspathe, so sind auch die Glimmer Doppelsalze von Kieselsäure verbunden mit einer Base von der Zusammensetzung RO (wie Kali, Lithion, Magnesia, Kalk, Eisenoxydul) und Kieselsäure, verbunden mit einer Base von der Gestalt $R_2 O_3$ (wie Thonerde und Eisenoxyd oder Manganoxyd). In vielem Glimmer kommt auch Fluor, wahrscheinlich an der Stelle des Sauerstoffs, vor.

Nachstehend geben wir die Analyse eines Kaliglimmers (I) von Broddbo bei Fahlun, nach H. Rose und eines Magnesiaglimmers (II) aus Sibirien, nach Klaproth.

	I	II
Kieselsäure	46.10	42,50
Thonerde	31.60	11.50
Eisenoxyd	8.65	22.00
Manganoxyd	1.40	2,00
Talkerde	—	9,00
Kali	8.39	10,00
Flußsäure	1.12	—
Wasser	1.00	—
Glühverlust	—	1.00
	98.26	98.00

c. **Verwitterungsprozeß.**

Der Glimmer zersetzt sich — man weiß nicht aus welchen Ursachen — nur schwierig. Dies zeigen alle Granite. In diesen findet sich der Glimmer selbst dann noch, wenn der Feldspath schon weich und zerreiblich geworden ist, fast unverändert. Glimmer, welcher ein aufgequollenes Ansehen angenommen und seine Spaltigkeit verloren hat, ist schon weit in der Verwitterung vorgeschritten.

Wenn aber auch der Glimmer selbst sich nur schwierig zersetzt, so begünstigt er doch da, wo er stratenförmig zwischen den Schichten auftritt, ganz vorzüglich die Zerklüftung der Gesteine. Dieser Umstand macht sich besonders bei den Sandsteinen, der Grauwacke, dem Glimmerschiefer und Gneiß geltend. Es haften die Schichten an den mit Glimmer belegten Stellen nicht fest aufeinander; das Wasser dringt leicht ein und sprengt, wenn es gefriert, die Schichten von einander.

Die Analysen frischen und verwitterten Glimmers mit einander zu vergleichen, um daraus den Vorgang bei der Verwitterung dieses Minerals zu entnehmen, ist unthunlich, weil die Zusammensetzung des Glimmers zu sehr schwankt. Wahrscheinlich hat aber der Verwitterungsprozeß des Glimmers die größte Aehnlichkeit mit dem des Feldspaths, d. h. die Kieselsäure wird als Hydrat und in Verbindung mit Kali entführt, Magnesia, Eisen, Mangan werden als Bicarbonate ausgeschieden werden und zuletzt wird Kaolin im Rückstand bleiben.

C. **Verwitterung der Hornblende.**

a. **Vorkommen.**

Im Syenit, im Hornblendeschiefer, verschiedenen Grünsteinen, accessorisch im Granit, Basalt u. s. w., außerdem in vielen sedimentären Gesteinen (Grauwacke, Altem Rothtodtliegenden, altem rothen Sandstein u. s. w). Sehr verbreitet.

b. **Zusammensetzung.**

Diese läßt sich durch die allgemeine Formel

$$RO, SiO_3 + 3\ RO, 2\ SiO_3$$

ausdrücken. Man hat zwei Arten von Hornblende unterschieden — thonerdefreie und thonerdehaltige.

α. Thonerdefreie Hornblenden.

1. Neutrale kieselsaure Kalkerde und zweidrittel kieselsaure Talkerde =

$$CaO, SiO_3 + 3 MgO, 2 SiO_3$$

Dieser Formel entspricht die Zusammensetzung

Kieselsäure	= 60.50
Kalkerde	= 12.43
Talkerde	= 27.07
	100.00

Hierher gehören Tremolit, Strahlstein, Grammatit.

2. Neutrales kieselsaures Eisenoxydul uud zweidrittel kieselsaure Talkerde.

$$FeO, SiO_3 + 3 MgO, 2 SiO_3$$

Prozentische Zusammensetzung:

Kieselsäure	= 58.79
Talkerde	= 26.31
Eisenoxydul	= 14.90
	100.00

Hierher gehört der Antophyllit.

3. Neutrales kieselsaures Natron (Kalk, Talkerde, Manganoxydul) und zweidrittel kieselsaures Eisenoxydul.

$$NaO, SiO_3 + 3 FeO, 2 SiO_3$$

Prozentische Zusammensetzung:

Kieselsäure	= 50.34
Eisenoxydul	= 38.30
Natron	= 11.36
	100.00

Hierher gehört der Arfvedsonit.

β. Thonerdehaltige Hornblenden.

Obgleich der Thonerdegehalt dieser Hornblenden sehr verschieden ist (er schwankt von 4—26%) so läßt sich doch für sie die obige Formel $RO, SiO_3 + 3 RO, 2 SiO_3$ benutzen, wenn man annimmt, daß die Kieselsäure durch die Thonerde ersetzt werden könne. Diese Annahme erhält übrigens dadurch einige Berechtigung, weil die Thonerde und Kieselsäure demselben Krystallsystem angehören und ihre Atomvolume in einem einfachen Verhältniß zu einander stehen.

Außer den vorgenannten Bestandtheilen hat man auch etwas Fluor in den Hornblenden gefunden.

c. **Verwitterungsprozeß.**

Ueber die Verwitterung der Hornblende liegen wenige Beobachtungen vor; übrigens weiß man, daß sie sich leichter, als Glimmer zersetzt. Der Verfasser sah im Odenwalde Syenit von anscheinend frischer Beschaffenheit; bei

näherer Betrachtung ergab es sich aber, daß die Hornblende schon ganz erdig und zerreiblich geworden war.

Thonerdehaltige Hornblenden mögen das mit den Feldspathen gemein haben, daß bei der Verwitterung die Thonerde vorzugsweise zurückbleibt. Die Kieselsäure, die Alkalien, alkalischen Erden und Eisen nebst Mangan werden entführt, wenn nicht die beiden letzten sich höher oxydiren. Dasselbe gilt auch, abgesehen von der Thonerde, für die thonerdefreien Hornblenden.

Genau läßt sich der Gang der Auflösung wegen der schon angeführten verschiedenartigen Zusammensetzung der Hornblende nicht verfolgen. Man hat nämlich darüber keine Gewißheit, ob das verwitterte Exemplar in seiner ursprünglichen Zusammensetzung mit dem frischen, welches zur Vergleichung benutzt wird, identisch war.

Indem wir auf diesen Umstand aufmerksam machen, führen wir Göschen's und Madrell's Analyse einer frischen und verwitterten Hornblende vom Wolfsberg bei Cernosin in Böhmen an.

	frische Hornblende	verwitt. Hornblende.
Kieselsäure	40.27	44.03
Thonerde	16.36	14.31
Eisenoxydul	15.34	25.55 oxyd
Kalkerde	13.80	10.08
Talkerde	13.38	2.33
Wasser	0.46	3.44
	99.61	99.74

Wie man sieht, hat der Gehalt an Kalkerde und Talkerde abgenommen, während das Eisen in eine höhere Oxydationsstufe übergegangen ist.

D. Verwitterung des Augits.

a. Vorkommen.

Nächst Feldspath, Glimmer und Hornblende ist der Augit eines der verbreitetsten Mineralien. Als wesentlicher Bestandtheil kommt er in manchen Grünsteinen, wohl auch im Melaphyr, im Basalt und in den Laven vor; außerdem findet er sich fragmentarisch in vielen sedimentären Gesteinen.

b. Zusammensetzung.

In seiner chemischen Constitution ist der Augit der Hornblende so ähnlich, daß man in neuerer Zeit versucht wurde, die verschiedene Krystallgestalt dieser beiden Mineralien auf Rechnung einer langsameren oder rascheren Erkaltung beim Uebergange aus dem geschmolzenen in den festen Zustand zu bringen. Indessen hat man auch beim Augit, sowie bei der Hornblende nöthig, eine Vertretung der Kieselsäure durch Thonerde anzunehmen. In diesem Falle würde die Formel der Augite $3\ RO,\ 2\ SiO_3$ sein.

Auch der Augit kommt mit und ohne Thonerde vor.

α. Thonerdefreie Augite.

Hierher gehören: Diopsid, Malakolith, Hedenbergit.

Diese enthalten Kieselsäure, Kalkerde, Talkerde, Eisenoxydul und Manganoxydul in wechselnden Verhältnissen. Je nach dem Vorherrschen des einen oder des andern dieser Stoffe unterscheidet man: Kalk-Talk-Augit, Kalk-Eisen-Augit, Kalk-Mangan-Augit, Eisen-Mangan-Augit, Kalk-Talk-Eisen-Augit.

β. Thonerdehaltige Augite.

Hierher sind zu rechnen: der gemeine Augit, Diallag und Hypersthen. Diese enthalten, neben Thonerde, alle Bestandtheile der thonerdefreien Augite.

An Alkalien sind die Augite sehr arm; nur in dem von Gmelin untersuchten fanden sich ungefähr $3^1/_2$ % an Kali und Natron.

c. **Verwitterungsprozeß.**

Ueber diesen hat man, wegen der schwankenden Zusammensetzung des Augits, keine zuverlässigen Anhaltspunkte. Indessen lassen sich nach Analogie der Zersetzung anderer, ähnlich zusammengesetzter Mineralien, folgende Muthmaßungen aufstellen.

α. In allen Augiten sind Eisen und Mangan in der Form von Oxydul enthalten. Diese werden also entweder als Bicarbonate durch kohlensäurehaltiges Wasser entführt werden, oder sich höher oxydiren.

β. Die Alkalien gehen als kohlensaure oder kieselsaure Salze fort.

γ. Talk- und Kalkerde werden als doppeltkohlensaure Salze austreten.

δ. Die Kieselsäure wird als solche, oder in Verbindung mit den Alkalien entführt werden.

ε. Die Thonerde wird ganz, oder zum größten Theil zurückbleiben.

Aus dem Umstand, daß der Augit nur sehr wenig von Salzsäure aufgelöst wird, läßt sich auf die Zeitdauer schließen, welche die Kohlensäure zu seiner völligen Zersetzung braucht.

E. Verwitterung des Olivins.

Von dem Vorkommen des Olivins ist schon S. 80. die Rede gewesen. Es wurden dort die Veränderungen abgehandelt, welche der Olivin durch Oxydation des Eisenoxyduls und durch Wasseraufnahme erleidet. Wir haben hier noch seine Verwitterung unter dem Einfluß der Kohlensäure zu betrachten.

α. Ist genug Kohlensäure, aufgelöst in Wasser, vorhanden, so wird das Eisenoxydul des Olivins als Bicarbonat entführt.

β. Die Bittererde geht gleichfalls als doppeltkohlensaures Salz fort.

Der Olivin wird durch Salzsäure vollständig zersetzt. Hieraus ergibt sich ein Maaßstab für die Wirkung der Kohlensäure auf dieses Mineral.

F. Verwitterung des Talks.

a. **Vorkommen.**

Der Talk bildet einen Bestandtheil des Talkschiefers (Quarz und Talk)

und vertritt im Protogin-Granit und Gneiß den Glimmer. Häufig kommt aber auch der Talk selbstständig in größern Massen vor. Er fühlt sich fettig, ähnlich wie Seife, an.

b. **Zusammensetzung.**

Die wesentlichen Bestandtheile des Talks sind Kieselsäure und Bittererde; letztere wird indessen häufig von Eisenoxydul theilweise vertreten. Außerdem kommen im Talk noch Kalkerde, Thonerde, Kali und Wasser vor. Von diesem weiß man aber noch nicht, ob es ein wesentlicher oder zufälliger Bestandtheil des Talks sei. Wahrscheinlich ist der Talk bereits ein Verwitterungsproduct und aus Hornblende oder Augit entstanden. Daher erklärt sich auch wohl die schwankende Zusammensetzung der Talke, für die man bald die Formel SiO_3, MgO, bald 5 SiO_3, 6 MgO aufgestellt hat.

Dem Talk nahe verwandt ist der Chlorit; nur tritt in diesem die Thonerde als wesentlicher Bestandtheil auf. Von dem Chlorit hat man zwei Arten, den eigentlichen Chlorit und den Ripidolith unterschieden, letzterer enthält 1 Aeq. Thonerde mehr, als ersterer. Die Zusammensetzung beider läßt sich aber durch die Formel

$$3\,RO \left\} \begin{matrix} 2\,SiO_3 \\ 2\,Al_2\,O_3 \end{matrix} \right. + 3\,OH$$

ausdrücken, wenn man annimmt, daß ein Theil der Kieselsäure durch Thonerde vertreten werden könne.

c. **Verwitterungsprozeß.**

Die Verwitterung des Talkes kommt so ziemlich mit derjenigen des Olivins überein. Nur zerfällt der blättrige Talk leichter in kleinere Fragmente, als der Olivin, während letzterer etwas leichter von Kohlensäure aufgeschlossen wird.

Die Verwitterung des Chlorits (einschl. Ripidolith) ist derjenigen des Feldspaths ähnlich; die Basen von der Form RO werden als doppeltkohlensaure Salze aufgelöst, oder auch, wenn sie Eisen und Mangan sind, höher oxydirt. Die Kieselsäure wird als Hydrat in Freiheit gesetzt.

G. **Kieselgesteine.**

Zu diesen rechnen wir alle diejenigen Gesteine, in denen Kieselerde ohne Verbindung mit einer Basis den vorherrschenden Bestandtheil bildet, also die eigentlichen Quarzite, Feuersteine, den Jaspis, Kieselschiefer, die Grundmasse vieler Sandsteine u. s. w.

Die reine Kieselerde löst sich, wiewohl in sehr geringer Menge, in kohlensauren Alkalien bei gewöhnlicher Temperatur (schneller aber in der Siedhitze) auf. In der Natur kommt die Kieselsäure aber nur sehr selten (z. B. im reinen Bergkrystall) ganz rein vor; meist ist ihr etwas Eisen und Mangan bei-

gesellt, von denen die Kieselgesteine gewöhnlich ihre Farbe erhalten. Außerdem kommen in den meisten Gesteinen dieser Gruppe Spuren von Thonerde, Kalkerde, Bittererde, Alkalien, Phosphorsäure, Schwefelsäure und Chlor vor.

Die Verwitterung, bei welcher die Oxydation und Wasseraufnahme des Eisens und Mangans eine große Rolle spielen, erfolgt nach den bekannten, im Vorhergehenden entwickelten Regeln.

4. Verwitterung der Felsarten.

A. Im Allgemeinen.

a. Die Verwitterbarkeit einer Felsart hängt von der Verwitterbarkeit ihrer Bestandtheile ab.

So zersetzt sich zum Beispiel ein Syenit, dessen Feldspath Labrador ist, leichter, als ein Syenit mit Orthoklas.

b. Schiefrige Gesteine zerfallen leichte in kleinere Fragmente, als massige Gesteine.

Hierauf ist früher schon hingewiesen worden. An den Schichtungsflächen hängen die Gesteine nicht so fest zusammen. Dringt das Wasser in die Spalten und gefriert, so werden die Schichten von einandergesprengt und zertrümmert. Der chemische Zersetzungsprozeß geht übrigens bei den geschieferten Felsarten häufig nicht so schnell von statten, als der mechanische. So zerfällt z. B. der Kieselschiefer sehr leicht in kleinere Stücke, aber diese erhalten sich lange Zeit unverändert, weil die Grundmasse des Gesteins Quarz ist.

c. Poröse Gesteine verwittern leichter, als derbe.

Dies erklärt sich ganz einfach aus der großen Oberfläche solcher Gesteine. Jene bietet dem Sauerstoff der Luft und der Kohlensäure mehr Angriffspunkte dar. So verwittert der blasige Basalt des Vogelsgebirges viel schneller, als der dichte Säulenbasalt; der mit vielen Blasenräumen versehene Melaphyr von Darmstadt verwittert in bei weitem kürzerer Zeit, als das derbe Gestein aus der nämlichen Gegend.

d. Der Feuchtigkeit ausgesetzte und mit Gewächsen oder Humus bekleidete Gesteine verwittern leichter, als nackte Felsen.

Zu diesem Satz liefert besonders das Verhalten der Felsarten in den Gebirgen den Beleg. Freistehende vegetationslose Kuppen erhalten sich Jahrhunderte unverändert, während mit Moos, Laub, Gras u. s. w. bedeckte Felsen augenscheinlich schneller der Zersetzung anheimfallen. Das Wasser löst in Verbindung mit der aus den verwesenden Pflanzen sich entwickelnden Kohlensäure die meisten Mineralien auf, wie im Vorigen ausführlich nachgewiesen worden ist.

e. Eisenoxydulhaltige Gesteine verwittern leicht.

Das Eisenoxydul hat das Bestreben, in Oxyd überzugehen. So zer-

setzt sich beispielsweise der eisenreiche Granit von Korsika leichter, als der an Eisen ärmere Granit vom Melibokus.

Auf die große Rolle, welche der Schwefelkies bei der Verwitterung spielt, machen wir hier nochmals aufmerksam.

f. Besteht ein Gestein aus Krystallen, so erleichtern diese die mechanische Zertrümmerung.

Wegen ihrer ungleichförmigen Ausdehnung bei Temperaturveränderungen. Wir verweisen in dieser Beziehung auf S. 49.

g. Die Verwitterungsfähigkeit einer zusammengesetzten Felsart ist nicht immer der Anzahl ihrer Bestandtheile proportional.

Den entgegengesetzten Satz hat Hundeshagen ausgesprochen. Die von demselben angeführten Belege sind aber keineswegs entscheidende Beweise. So beruht die Unveränderlichkeit der reinen Kieselgesteine (Quarze u. s. w.) nicht auf ihrer einfachen Zusammensetzung, sondern darin, daß sie, zufolge ihrer chemischen Natur, mit Sauerstoff und Kohlensäure, den hauptsächlichsten Agentien der Verwitterung, keine Verbindungen eingehen. Enthält der Quarz fremdartige Bestandtheile (Eisen, Mangan u. s. w.), so erleichtern diese allerdings die Verwitterung, aber nicht diejenige der Kieselsäure, blos sie selbst zersetzen sich, weil sie zu dem Sauerstoff Verwandtschaft haben. Diese Nebenbestandtheile verwittern aber eben so leicht, wenn sie nicht im Vereine mit freier Kieselerde vorkommen.

Andere Behauptungen, welche Hundeshagen zum Belege seiner Ansicht vorgebracht hat, wie z. B. daß der Dolomit rascher verwittere, als der körnige Kalk, sind vollständig unrichtig.

Dagegen lassen sich viele Beispiele dafür anführen, daß die Complexität der Zusammensetzung einer Felsart nicht unter allen Umständen der Verwitterung günstig sei. So zersetzt sich der aus vielen Elementen bestehende Glimmer schwieriger, als der chemisch einfachere kohlensaure Kalk oder Gyps.

Hundeshagen suchte seinen Ansichten über die Verwitterbarkeit der zusammengesetzten Felsarten durch Annahme eines geogalvanischen Prozesses eine Stütze zu geben.

Man weiß, daß bei der gegenseitigen Berührung ungleichartiger Körper Electricität entwickelt wird und daß die Wirkung der letztern bedeutend werden kann, wenn man die ungleichartigen Körper zu einer Kette ordnet. Hundeshagen ist überzeugt, daß die zusammengesetzten Felsarten solche Ketten bilden und daß die Electricität, welche durch dieselbe erregt wird, eine Zersetzung der Salze in Basen und Säuren und der Oxyde in das betreffende Radical und in Sauerstoff zu Wege bringe. Er übersah aber dabei, daß solche galvanische Ströme, wie er sie vermuthet, noch nirgends nachgewiesen sind, oder daß dieselben auch nur bei einer bestimmten regelmäßigen Ordnung der Glieder einer Kette auftreten, keineswegs aber dann, wenn diese Glieder bunt durch einander gewürfelt sind, wie dies in den Felsarten der Fall ist. Jedenfalls

kann der geogalvanischen Thätigkeit erst dann Gewicht in Bezug auf die Verwitterung beigelegt werden, wenn genauere Untersuchungen über dieselbe nachgewiesen haben, daß sie wirklich bestehe.

B. Verwitterung der Felsarten im Besonderen.

a. Granit.

α. Zusammensetzung.

Diese wurde schon S. 34. angegeben. Hiernach besteht der Granit aus Feldspath, Quarz und Glimmer in krystallinischem Gefüge. Der Feldspath ist theils Orthoklas, theils Oligoklas und Albit. Mitunter werden die Orthoklaskörner von Albit oder Oligoklas wie von einer dünnen Schale eingehüllt. Der Glimmer ist Kali- oder Magnesiaglimmer, nur in seltenen Fällen Lepidolith. Im Protogin ist der Glimmer durch Talk vertreten; im Greisen fehlt der Feldspath.

β. Verwitterungsprozeß.

Dieser setzt sich aus der Verwitterung der einzelnen Bestandtheile des Granits zusammen. Dabei spielen die accessorischen Mineralien im Granit, wie Talk, Chlorit, Hornblende, Eisenglanz (Eisenglimmer), Magneteisenerz, Granat, Pinit, Turmalin, Apatit u. s. w. und unter diesen besonders die Eisenverbindungen eine nicht unbedeutende Rolle. Von den vorherrschenden Bestandtheilen des Granits verwittern am leichtesten die Feldspathe nach der Rangordnung: Oligoklas, Albit, Orthoklas. Viel länger hält sich der Glimmer. Die Verwitterung des Quarzes besteht hauptsächlich in der Oxydation des demselben beigemengten Eisenoxyduls.

Der Anfang in der Verwitterung des Granits manifestirt sich durch Mattwerden der Feldspathkrystalle. Sie verlieren ihren Glanz und werden zerreiblich; zuletzt gehen sie in eine kaolinartige Masse über. Doch dauert dieser Prozeß eine lange Reihe von Jahren; er wird aber abgekürzt, wenn der Feldspath viel Eisen enthält. Oft ist der Feldspath schon ganz erdig geworden, während man an dem Quarz und Glimmer kaum eine Spur der Zersetzung wahrnimmt.

Wenn der Feldspath seinen Zusammenhang verloren hat, so zerfällt das Gestein zuerst in dickere Brocken, dann in kleinere Fragmente (Granitgrus).

Einige Granite verwittern leicht, andere schwerer, ohne daß sich immer die Ursachen dieses abweichenden Verhaltens auffinden ließen. Indessen scheinen doch die quarzreichen Granite der Zersetzung am meisten Widerstand zu leisten.

γ. Die Verwitterungsproducte

bestehen aus kohlensauren oder kieselsauren Alkalien, kohlensaurem Kalk, Eisen

und Mangan und kohlensaurer Magnesia, freier Kieselsäure, schwefel- und phosphorsauren Salzen, Eisen- und Manganoxydhydrat.

b. **Granulit.**

α. Zusammensetzung.

Quarz und Feldspath. Accessorisch, aber sehr bezeichnend, Granat.

β. Verwitterung.

Diese scheint, nach den Beobachtungen, die der Verfasser im Odenwald zu machen Gelegenheit hatte, schwieriger, als die des Granits von statten zu gehen.

c. **Syenit.**

α. Zusammensetzung.

Der Feldspath ist meist Orthoklas, oder Labrador. Oligoklas und Albit kommen seltener vor. Nach Delesse besteht der Syenit in den Vogesen aus Hornblende und aus zwei Feldspathen, nämlich Orthoklas und Andesin (in letzterm 5% Kalk, 2% Kali, 7% Natron).

β. Die Verwitterung

des Syenits hat mit der des Granits, in welchen der Syenit häufig übergeht, Vieles gemeinsam. Auch von diesem Gestein gibt es Varietäten, die schneller, und andere, welche leichter verwittern.

d. **Gneiß.**

α. Zusammensetzung.

Die des Granits, aber mit schieferiger Structur.

β. Verwitterung.

Wie alle geschieferten Felsarten zerfällt der Gneiß ziemlich schnell in Brocken und kleinere Fragmente. Dagegen scheint die chemische Zersetzung langsamer, als beim Granit zu erfolgen.

e. **Glimmerschiefer.**

Besteht aus Quarz und Glimmer. Accessorisch enthält er Feldspath, Hornblende, Granat und verschiedene Eisenverbindungen. Von ihm gilt, wenn man vom Feldspath absieht, beinahe das Nämliche, wie vom Gneiß. Der ganze Act der Verwitterung fällt hier fast allein dem schwerzerstörbaren Glimmer anheim. Doch liefert der Glimmerschiefer oft einen sehr mürben und nicht selten auch tiefgründigen Boden. Einige Glimmerschiefer scheinen sogar leichter zu verwittern, als der Gneiß.

f. Thonschiefer.

α. Zusammensetzung. (S. S. 10.)

Alle bis jetzt untersuchten Thonschiefer enthalten Wasser, scheinen daher, da letzteres auch in den zunächst der Erdoberfläche liegenden Schichten vorkommt, zum Theil schon der Verwitterung anheimgefallen zu sein. Viele Thonschiefer brausen mit Säuren, sie enthalten kohlensauren Kalk, welcher sich höchst wahrscheinlich erst durch die Verwitterung gebildet hat.

Der Thonschiefer läßt sich mittelst Salzsäure in einen zersetzbaren und und unzersetzbaren Theil trennen. Beide enthalten Kieselsäure, Thonerde, Eisenoxyd, Mangan, Kalkerde, Talkerde, Kali und Kohle.

1) der durch Salzsäure zerlegbare Theil hat so ziemlich die Zusammensetzung des Chlorits, insbesondere des Ripidoliths. Seine Menge beträgt 10—30%. Er ist als ein feiner Staub durch das ganze Gestein verbreitet und bedingt, neben der Kohle, vorzüglich die Farbe desselben. Die grünlichen Nuancirungen vieler Thonschiefer rühren von ihm her.

2) der durch Salzsäure nicht zerlegbare Theil kann als ein Thonerdesilikat (welches ungefähr die Zusammensetzung $Al_2 O_3$, $Si O_3$ besitzt) betrachtet werden, dem Quarz, etwas Eisen- und Manganoxydhydrat, sowie Fragmente von Feldspath und Glimmer beigemengt sind. Die Quantität des Quarzes schwankt von 25—50%, die der übrigen Bestandtheile des Theils 2. zwischen 30 und 50%.

Da die Zusammensetzung des Thonschiefers so sehr veränderlich ist, so lassen sich Formeln für denselben nicht wohl aufstellen.

β. Verwitterungsprozeß.

Die Zerlegbarkeit des Thonschiefers durch Salzsäure gibt einen Maßstab für den Grad der Verwitterung, dessen er fähig ist. Nach verschiedenen Analysen verhalten sich

der Theil 1 zum Theil 2 =	28,98 : 71,02
	30,53 : 69,47
	29,73 : 70,27
	3,216 : 76,39
	24,48 : 75,52
	25,31 : 74,69

Da die Kohlensäure eine der Salzsäure ähnliche Wirkung hat, so ist es wahrscheinlich, daß der Theil 1. nach und nach durch kohlensäurehaltiges Wasser aufgelöst und fortgeführt werden kann. Die Verwitterungsproducte des Thonschiefers wären demnach: kieselsaures und kohlensaures Alkali, kohlensaure Kalkerde und Magnesia, freie Kieselsäure, kohlensaures Eisen- und Manganoxydul und Eisen- und Maganoxydhydrat.

Die meisten Analysen geben das Eisen im Thonschiefer als Oxyd an. Indessen scheint dieser Stoff auch häufig als Oxydul vorzukommen. In diesem Falle wird es durch Oxydation und Aufnahme von Hydratwasser eine wichtige Rolle spielen.

Sehr häufig werden die Thonschiefer von Quarzschnüren durchzogen, welche wohl nur als ein Verwitterungsproduct angesehen werden dürfen. Wie wir oben bemerkt haben, wird bei der Zersetzung des Thonschiefers durch Kohlensäure ein Theil der Kieselerde in Freiheit gesetzt; diese nimmt Wasser auf und löst sich alsdann. Verdunstet das zur Lösung dienende Wasser, und geht gleichzeitig auch das chemisch gebundene Wasser hinweg, so bleibt unlösliche Kieselerde zurück.

$$Si\,O_3 + \llcorner\, aq.$$

Daß diese sich vorzüglich in den Spalten des Gesteins niederschlagen mußte, ist begreiflich.

Es bedarf kaum noch einer Bemerkung, und die Benennung des Thonschiefers macht uns schon darauf aufmerksam, daß dieses Gestein, zufolge seiner Structur, sehr leicht von eindringendem Wasser geklüftet wird.

g. Grauwacke.

Sie kommt als Grauwackenschiefer und als Grauwackensandstein vor und stimmt, abgesehen von dem größern Quarzgehalt, in ihrer Zusammensetzung und in ihren übrigen Eigenschaften (auch die Grauwacke erscheint nicht selten mit krystallinischem Gefüge) so sehr mit dem Thonschiefer überein, daß die Darstellung ihrer Verwitterung nur eine Wiederholung des über den Thonschiefer Gesagten sein würde.

h. Grünstein.

α. Zusammensetzung.

In die Gruppe des Grünsteins gehören (S. 36.) der Amphibolit, Diorit, Serpentin, Gabbro, der eigentliche Grünstein oder die Diabase, der Schalstein, der Hyperit, Eklogit und Aphanit. In diesen Gesteinsarten kommen folgende Mineralien vor:

1. Feldspath, (Labrador, Albit, Saussurit, Oligoklas).
2. Hornblende.
3. Augit (Diallag, Hypersthen ꝛc.)
4. Chlorit.
5. Kalkspath.

β. Die Verwitterung

der vorstehenden Mineralien haben wir früher schon betrachtet. Die Producte der Verwitterung der Grünsteine setzen sich aus denen ihrer Bestandtheile zusammen.

Sehr viele Grünsteine enthalten Wasser, welches sie im Laufe der Verwitterung aufgenommen zu haben scheinen.

Ueber die Natur des Schalsteins ist man noch nicht vollständig im Reinen. Er enthält rundliche, oft erbsengroße Körner von Kalkspath. Wahrscheinlich ist er durch Einwirkung des Grünsteins auf Grauwacke, mit welcher der Schalstein immer zugleich vorkommt, entstanden. Daß bei der Bildung des Schalsteins ein Verwitterungsprozeß thätig gewesen sei, darauf deutet schon der Gehalt an kohlensaurem Kalk hin.

i. **Felsitporphyr.**

α. Zusammensetzung. (S. 37.)

Feldspath, Quarz und Glimmer bilden die Grundmasse und Einsprenglinge. Zu den accessorischen Bestandtheilen gehören Hornblende, Eisenkies, Eisenglanz, Eisenrahm, Magneteisenerz.

β. Verwitterungsprozeß.

Dieser ergibt sich leicht, da wir die Zersetzung des Feldspaths, Quarzes und Gimmers bereits kennen. Die Verwitterung des Porphyrs beginnt gewöhnlich damit, daß die Einsprenglinge aus der Oberfläche des Gesteins durch Frost 2c. 2c. gehoben werden. In die Oeffnungen dringt nun leicht kohlensäurehaltiges Wasser ein. Auch die Oxydation der Eisenverbindungen spielt beim Porphyr eine große Rolle; sie macht sich besonders bei den blauen Porphyren bemerkbar, welche alsdann eine röthliche Farbe annehmen. — Schon früher wurde bemerkt, daß die Benennung „Thonsteinporphyr" für solche Porphyre gilt, welche schon von der Verwitterung gelitten haben.

k. **Melaphyr.**

α. Zusammensetzung. (S. 38.)

Der Melaphyr ist ausgezeichnet durch den gänzlichen Mangel an Quarz. Er vermittelt den Uebergang von den Porphyren zu den Basalten. Zeolithe kommen indessen selten im Melaphyr vor. Accessorische Bestandtheile des Melaphyrs sind: Eisenglimmer, Kalkspath, Braunspath, Eisenglanz, Eisenrahm, Eisenspath.

β. Verwitterung.

Sie fällt zum größten Theil mit derjenigen des Labradors zusammen, aus welchem die Grundmasse des Melaphyrs vorherrschend besteht. Wahrscheinlich rühren die Kalkspathmandeln, an welchen der Melaphyr so reich ist, nur von der Zersetzung des Labradors her, während der Braunspath gleichzeitig aus den Bestandtheilen des Labradors und des Chlorits sich gebildet hat. — Die blasige Structur des Melaphyrs begünstigt seine Verwitterung ausnehmend. Frische Exemplare dieser Felsart besitzen meist eine grünliche Färbung; ist das Gestein in der Zersetzung schon weiter vorgeschritten, so geht jene in eine rothe oder braunrothe über.

Der Melaphyr verwittert verhältnißmäßig viel leichter, als der Felsitporphyr.

I. Trachyt.

α. Zusammensetzung.

Der Trachyt läßt sich mittelst Salzsäure zerlegen.

1. Der zersetzbare Theil besteht, aus Magneteisen und glasigem Feldspath.
2. Der nach der Behandlung mit Salzsäure im Rückstand bleibende Theil kann als ein Albit angesehen werden, in welchem das Alkali zur einen Hälfte aus Natron, zur andern Hälfte aus Kali und Kalkerde besteht.

Im Trachyt des Siebengebirges fand man das Verhältniß des Theiles 1. zum Theil 2., wie 12, 51 : 87, 49 und zwar:

	im Theil 1.	in 2.	im Ganzen.
Kieselsäure	46,11	70,22	67,09
Thonerde	4,58	17,29	15,63
Eisenoxydul	29,88 Oxyd.	0,82 FeO, Fe_2O_3	4,59
Eisenh. Titansäure	2,95	—	0,38
Kalkerde	3,33	2,09	2,25
Talkerde	4,66	0,41	0,97
Manganoxydul	1,20	—	0,15
Kali	1,58	3,71	3,56
Natron	1,47	5,62	5,07
Wasser, Chlor u. s. w.	2,96	—	0,45
	98,72	100,16	100,14

Zu den Einsprenglingen des Trachyts gehört vor Allem der glasige Feldspath oder Sanidin, außer diesem kommen Hornblende, Glimmer, Granat, Olivin, Nephelin, Mesotyp, Chabasit, Augit, Kalkspath und Quarz (letzterer selten, am häufigsten noch im Trachyt des Siebengebirges) vor.

Domit ist eine Abart des Trachyt, welche in der Auvergne (Puy de Dome) auftritt. Das Gestein ist weicher, als Trachyt, jedoch klingend.

β. Verwitterung.

Analysen von zersetztem Trachyt, welche mit solchen des frischen Gesteins verglichen werden könnten, sind noch nicht angestellt worden.

Die in der Grundmasse des Trachyts eingesprengten Sanidinkrystalle sind für die Verwitterung dieser Felsart von großer Wichtigkeit. Der Luft ausgesetzt, bröckeln sich nämlich diese Krystalle leicht aus (wie man an den Mauern des Kölner Doms bemerken kann) und nun schreitet die Verwitterung rasch vorwärts.

Der durch Salzsäure zerlegbare Theil ist es, welcher zuerst der Zersetzung durch Kohlensäure anheimfällt. Die poröse Structur vieler Trachyte erleichtert dem Sauerstoff der Luft und dem mit Kohlensäure geschwängerten Wasser den Zutritt.

m. **Phonolith.**

α. Zusammensetzung.

Wie der Trachyt, so läßt sich auch der Phonolith mittelst Salzsäure zerlegen

1. in einen zeolithartigen Bestandtheil, der ungefähr die Zusammensetzung des Mesotyps besitzt und
2. in einen im Rückstand bleibenden Kali-Natronfeldspath, den man als Sanidin ansehen kann.

Das Verhältniß des Zeoliths zum Feldspath ist nicht constant, was wahrscheinlich daher rührt, weil der Zeolith sich leichter zersetzt, als der Feldspath.

Mehrere Analysen ergaben

1 : 2 = 55,33 : 44,87
= 48,97 : 51,03
= 37,47 : 62,53
= 18,59 : 81,41
= 15,84 : 84,16
= 4,21 : 95,79

Nachstehend die Zusammensetzung eines Phonoliths nach C. Gmelin:

	1.	2.	Ganzes.
Kieselsäure	38,574	66,291	61,901
Thonerde	24,320	16,510	17,747
Eisenoxyd	11,346	2,338	3,806
Mangonoxyd	2,194	0,896	0,774
Kalkerde	1,802	Spur	0,029
Natron	12,656	4,960	6,182
Kali	3,079	9,249	9,006
Titansäure	0,620	—	0,098
Wasser und Org. Substanz	4,614	—	0,666
	99,295	100,294	99,478

Im Phonolith kommen von Zeolithen in Drusenräumen vor: Apophyllit, Chabasit, Comptonit, Desmin, Natrolith, Analcim. Olivin und Augit finden sich nur selten in ihm. Der Phonolith erscheint mehr in dichten compacten Massen, dagegen ist ihm schieferige Structur und plattenförmige Absonderung mehr eigen, als den übrigen plutonischen Felsarten.

β. Verwitterung.

Aus einer Analyse eines verwitterten Phonoliths, welche C. Gmelin angestellt hat, ergibt sich, daß der in Salzsäure unlösliche Theil 1. bei der Verwitterung fast gar keinen Veränderungen unterliegt, während der in Salzsäure lösliche Theil 2. nicht blos Kieselsäure, Kalk, Kali und Natron, sondern auch etwas von seiner Thonerde abgibt. Letzteres kann nicht befremden, wenn man erwägt, daß die Zeolithe — und der Theil 1. spielt die Rolle eines solchen — von Salzsäure zersetzt werden.

Es wurde schon früher darauf aufmerksam gemacht, daß, nach Struves Entdeckung, von den Alkalien vorzugsweise das Natron ausgeschieden wird. Der Phonolith verwittert, einzelne Fälle ausgenommen, im Ganzen leicht.

n. **Basalt.**

α. Zusammensetzung.

Der Basalt besteht (S. 39.) aus Labrador, Augit, Magneteisen und einem wasserhaltigen Thonerdesilikat (Zeolith). Hierzu kommt, wiewohl in veränderlichen Mengen Olivin oder Chrysolith. In einem Basalt vom Fichtelgebirge fand man das Verhältniß dieser Mineralien folgendermaßen:

1.	Magneteisen	11. 54	47. 78.
	Olivin	8. 30	
	Zeolith	27. 94	
2.	Labrador	21. 34	52. 22.
	Augit	30. 88	
		100. 00	

Der Basalt läßt sich durch Salzsäure zerlegen in einen auflöslichen Theil, welcher das Magneteisen, den Olivin und Zeolith und etwas Labrador umfaßt, und in einen unauflöslichen Theil, welcher den Rest des Labradors und den Augit in sich begreift.

Der Basalt ist ausgezeichnet durch das Vorkommen von Zeolithen, er ist reicher an diesen, als jede andere plutonische Felsart.

β. Verwitterung.

Von den Bestandtheilen des Basaltes verwittert vorzüglich leicht der Olivin. Wie wichtig er in dieser Hinsicht für die Verwitterung des Basaltes ist, wurde schon angedeutet.

Nächst dem Olivin zersetzt sich am frühesten der zeolithartige Bestandtheil des Basaltes, sowie das Magneteisen durch Sauerstoffaufnahme in Oxyd übergeht. Dann folgen der Labrador und Augit.

Ebelmen hat frischen und verwitterten Basalt von einerlei Fundstätte analysirt und gefunden:

	frischer Basalt.	verwitterter Basalt.
Kieselsäure	45,9	43,2
Titansäure	1,0	1,2
Thonerde	16,2	18,9
Manganoxyd	0,3	0,3
Eisenoxydul	13,0	14,6
Talkerde	6,3	5,6
Kalkerde	10,3	8,2
Natron	3,6	1,4
Kali	1,2	0,5
Wasser	2,4	6,7
	100,2	100,6

Man sieht also, daß der Gehalt an Kieselsäure, Eisen, Talkerde, Kalk, nebst Natron und Kali abgenommen, dagegen der Wassergehalt zugenommen hat. Die größere Menge Thonerde im verwitterten Basalt rührt daher, daß dieselbe in verhältnißmäßig geringem Maße weggeführt wurde, wodurch sie sich relativ anhäufen mußte.

Die begonnene Verwitterung des Basaltes macht sich zuerst an einem gelben Ueberzuge des Gesteins bemerkbar, der an Säulen oft damascirt erscheint. Manche Basalte, z. B. die säulig abgesonderten, widerstehen lange der Verwitterung, andere zersetzen sich schneller. Nicht selten bemerkt man, daß ganze Felsen in kleine, hasel- bis wallnußgroße Trümmer zerfallen sind. Viele Thone des Diluviums und der Molasse verdanken dem Basalte ihre Entstehung.

Der blasige Basalt wird öfters bei schon weit vorgeschrittener Verwitterung durch Wasseraufnahme so weich, daß er sich mit dem Messer schneiden läßt. An der Luft erhärtet er wieder.

Lava.

α. Zusammensetzung.

Die Auswürflinge der erloschenen und noch thätigen Vulkane enthalten so ziemlich die nämlichen Bestandtheile, wie der Basalt, nur ist der in der Lava vorkommende Feldspath nicht blos Labrador, sondern auch Oligoklas. Augit und Magneteisen, auch Olivin, kommen in allen Laven vor. Die amorphe Lava läßt sich, wie der Basalt, durch Salzsäure theilweise zerlegen. Nachstehend die Zusammensetzung einer Lava von Niedermendig am Laacher See.

	Durch Salzsäure zersetzbar.		Durch Salzsäure nicht zersetzbar.
Kieselsäure	21,10		25,16
Thonerde	9,21		7,21
Eisenoxyd	2,63	oxydul	4,01
Kalkerde	3,16		0,63
Natron	4,54		2,43
Kali	0,86		—
Phosphorsäure	1,80		1,10
Chlor	Spur		—
Magneteisen	13,27		—
Talkerde und Manganoxydul	—		2,23
	56,57		42,77

β. Verwitterung.

Diese hat mit derjenigen des Basaltes die größte Aehnlichkeit. Nur verwittert die Lava viel schneller, als der Basalt. In Italien, am Vesuv

und Aetna sind oft schon nach 100 Jahren die erkalteten Lavaströme mit einer üppigen Vegetation bekleidet. Die vulkanische Asche insbesondere bietet wegen ihrer Zertheilung den Agentien die Verwitterung viele Angriffspunkte dar.

p. Sandsteine.

α. Zusammensetzung.

Die Sandsteine bestehen entweder aus den verwitterten Trümmern anderer Felsarten (wie viele Grauwacken, der alte rothe Sandstein, das Rothtodtliegende, viele Sandsteine der Trias- und Kreide-Gruppe) oder sie sind durch chemischen Niederschlag von Kieselsäure aus Gewässern entstanden. Hierher gehören wahrscheinlich die meisten bunten Sandsteine, der Quadersandstein, Kohlensandstein u. s. w. Das Bindemittel der Sandsteine letzterer Art

1. fehlt entweder ganz, und die einzelnen Quarzkörner sind in diesem Falle nur zusammen gekittet,
2. oder ist Kieselerde,
3. oder Kalkerde und Talkerde,
4. oder Thon,
5. oder Eisen in den beiden Oxydationsstufen, vorzüglich aber als Oxyd.

β. Verwitterung.

Die Zersetzung der conglomeratartigen Sandsteine ergibt sich aus dem Vorhergehenden. Die Verwitterung der durch chemischen Niederschlag der Kieselsäure entstandenen Sandsteine reducirt sich hauptsächlich auf eine Veränderung in der Zusammensetzung des Bindemittels. Kalk und Talk und Eisenoxydul werden von kohlensäurehaltigem Wasser aufgelöst, wenn das Eisenoxydul sich nicht höher oxydirt; aus dem Thon, den wir nur als ein unvollständig zersetztes feldspathartiges Mineral ansehen dürfen, werden Kieselsäure, Alkalien, Kalk, Bittererde u. s. w. durch Einwirkung der Kohlensäure weggenommen. Die schiefrige Structur der Sandsteine kommt ihrer mechanischen Zertrümmerung sehr zu statten.

Anhang. Erklärung der Tafel I.

Diese Tafel hat keinen andern Zweck, als den, eine Uebersicht des relativen Alters der neptunischen und plutonischen (nebst vulkanischen) Bildungen zu geben. Von den neptunischen Gruppen und Formationen sind stets die oberen jünger, als die unteren; bei den plutonischen und vulkanischen Gebilden läßt sich das Alter nach dem Alter derjenigen sedimentären Formationen bemessen, welche von jenen durchsetzt worden sind. So sind z. B. die Vulkane jünger, als der Basalt, weil jene noch das Alluvium durchdringen, während der Basalt nur die Molasse durchsetzt hat.

Indessen mangelt es noch sehr an verbürgten Beobachtungen, um das Alter der plutonischen Gesteine unter sich und im Verhältniß zu den neptunischen Formationen mit Sicherheit feststellen zu können. So ist es z. B. nach neueren Untersuchungen sehr wahrscheinlich, daß der Granit noch jüngere Gruppen, als die Grauwacke durchsetzt hat. Bei der Aufstellung der Tabelle I. hat man sich vorzüglich an die Angaben von Bernhard Cotta gehalten, welche das Resultat einer umfassenden Reihe von Beobachtungen sind. Der geneigte Leser wird gebeten, diejenigen Aenderungen, welche sich durch constatirte Untersuchungen im Laufe der Zeit ergeben sollten, in der Tabelle I. nachzutragen.

Zweites Buch.

Unterscheidung des Bodens nach seiner äußern und innern Beschaffenheit.

Erster Abschnitt.

Characteristik des Bodens nach der Lagerstätte.

1. Ursprüngliche und secundäre Lagerstätte.

Der aus den Gesteinen durch den Verwitterungsprozeß entstandene Boden blieb theils auf der ursprünglichen Bildungsstätte liegen, theils wurde er durch Gewässer, Winde u. s. w. fortgeführt und an einer andern Stelle wieder abgesetzt. Regen- und Schneewasser, austretende Bäche nahmen die leichter beweglichen Fragmente der zersetzten Gesteine mit sich und ließen sie erst wieder in den Ebenen zur Ruhe kommen. So sind die großen Alluvionen in den Thälern des Mains, Rheins, der Elbe, Oder u. s. w. erzeugt worden. So stammen die großen Thonlager der Wetterau in Hessen von zersetztem Basalt aus dem Vogelsgebirge ab.

Hiernach kann man den Boden eintheilen

a) in solchen, welcher sich noch auf seiner ursprünglichen Bildungsstätte befindet;

b) in solchen, welcher eine secundäre Lagerstätte eingenommen hat.

Den Boden der erstgenannten Art bezeichnet man auch wohl als Gebirgsboden. Diese Benennung sollte übrigens fallen gelassen werden, weil sie leicht zu dem Mißverständniß Veranlassung gibt, als ob damit der im Gebirge befindliche Boden gemeint sei. Den Boden auf secundärer Lagerstätte heißt man auch Schwemmboden oder aufgeschwemmtes Land.

2. Wurzelbodenraum und Untergrund.

Diejenige Bodenschichte, welche die Pflanzen noch mit ihren Wurzeln durchdringen, nennen wir den Wurzelbodenraum, die unter diesem liegenden Schichten den Untergrund. Andere bezeichnen den Wurzelbodenraum als

„Obergrund" oder „Dammerde". Beide Ausdrücke scheinen nicht geeignet zu sein, letzterer schon deßhalb nicht, weil Viele unter „Dammerde" einen humushaltigen Boden verstehen.

A. Zwischen dem Wurzelbodenraum und dem Untergrund können folgende Verhältnisse stattfinden

a) Beide sind gleichartig und zwar

Fig. 57.



α. schwer durchdringbar (Felsen, Thon). Fig. 57 a.

β. leicht durchdringbar (Sand, Lehm u. s. w. oder zerklüfteter Fels in der Tiefe.) Fig. 57 b.

b) beide sind ungleichartig.

α. Wurzelbodenraum schwer, Untergrund leicht durchdringbar (Fig. 57 c), z. B. wenn Thon über Sand liegt. Dieser Fall kommt in der Natur weniger häufig vor, öfter dagegen derjenige, daß Raseneisenstein oder Ortstein über große Strecken Landes in geringer Tiefe unter der Oberfläche eines für sich leicht durchdringbaren Bodens hinzieht.

β. Untergrund schwer, Wurzelbodenraum leicht durchdringbar. (Fig. 57 d) Dieser ist der gewöhnlichste Fall. Er tritt ein, wenn z. B. Thon oder Felsen unter Sand, Lehm u. s. w. liegen.

γ. Der Wurzelbodenraum oder der Untergrund, jeder für sich, bestehen aus abwechselnden leicht und schwer durchdringbaren Schichten. (Fig. 57 e).

Selten finden die schroffen Absätze statt, welche wir so eben angenommen haben; viel häufiger kommt es vor, daß schwer- uud leicht durchdringbare Schichten allmählig in einander übergehen (Fig. 57 f). Bei der Mehrzahl der Waldböden nimmt die Lockerheit des Erdreichs mit der Tiefe ab. Dies rührt zum Theil von dem größern Druck her, welchem die untern Schichten ausgesetzt sind; dann werden aber auch die obern Bodenlagen mehr durch den Humus, durch den Winterfrost und durch die chemische Verwitterung gelockert.

Bilden Felsen den Untergrund, so ist es sehr wichtig, wie die Schichten einfallen. Man unterscheidet

Fig. 58. Fig. 59. Fig. 60.





horizontale (söhlige) Fig. 58.
geneigte (flache) Fig. 59. und
senkrechte (saigere) Fig. 60.
Stellung der Schichten.

Nach ihrem Verhalten gegen das Eindringen des Wassers nennt man den Wurzelbodenraum und Untergrund durchlassend oder undurchlassend. Einen undurchlassenden Untergrund liefern plastischer Thon, nicht zerklüftete Felsen, oder eine horizontale und oft auch eine geneigte Stellung der Schichten. Erstere bewirkt ein Aufstauen, letztere ein schnelles Abziehen des Wassers.

Den Wurzelbodenraum nennt man, je nach seiner Mächtigkeit, flachgründig oder tiefgründig. Diese Bezeichnungen sind aber relativ, sie hängen von der Wurzelverbreitung der Gewächse ab. Es kann z. B. ein Boden für die Eiche zu flachgründig sein, welcher für die Fichte hinlängliche Tiefgründigkeit besitzt.

B. Was den innern und oberflächlichen Zustand des Wurzelbodenraums, abgesehen vom Untergrunde, anlangt, so lassen sich folgende Unterscheidungen begründen:

a) Nackt heißt der Boden, wenn ihm jede Bekleidung durch Gewächse fehlt, wund wird er genannt, wenn ein Theil der obern Bodenkrume auf natürlichem oder künstlichem Wege entfernt worden ist. Ersteres geschieht z. B. durch starke Platzregen, Ueberschwemmungen ꝛc. namentlich auf geneigten Lagen, letzteres durch Werkzeuge (Hacken ꝛc.), durch Schweineumbruch ꝛc.

b) Die oberflächliche Bekleidung des Wurzelbodenraums kann durch Gewächse mannigfacher Art bewirkt werden. Hinsichtlich der Forstcultur, namentlich der Bestandsbegründung, ist es von Wichtigkeit, ob diese Gewächse groß oder klein sind, ob sie sich dicht stellen, ob sich ihr Wurzelsystem zur Verfilzung neigt ꝛc.

Die gewöhnlichen Sträucher, welche auf dem Waldboden vorkommen, sind Rosen, Brombeeren, Himbeeren, Schlehen, Weißdorn, Hartriegel, Besenpfriemen, Rainwaiden ꝛc. Diesen kommen mehrere Farnkräuter, wie der Adlerfarn, an Größe fast gleich.

Zu den niedrigen Sträuchern (sogen. Erdsträuchern) gehören: die Haide, mehrere Vacciniumarten, wie die Heidel- und die Preißelbeeren, dann die Alpenröschen im Hochgebirg ꝛc. Sie leben gesellig, stellen sich sehr dicht und verfilzen mit den Wurzeln den Boden.

Dasselbe gilt von vielen Kräutern, wie z. B. dem Weidenröschen, dem rothen Fingerhut ꝛc., Gräsern, Simsen, Binsen ꝛc.

Von den Moosen stellen sich zwar die Astmoose und die Sumpfmoose sehr dicht, doch bilden sie noch einen verhältnißmäßig lockern Teppich im Vergleich zu den Widerthonen, den Schildflechten und Cladonien.

Zweiter Abschnitt.

Unterscheidung des Bodens nach der Lage.

1. Oberflächengestaltung des Landes.

A. Hoch- und Tiefländer, Gebirgsländer, Hochebenen.

Die Oberfläche der Erde bildet keine vollkommene Ebene, sondern ist stellenweise mit Erhabenheiten versehen, die man, je nach ihrer Größe, Hügel, Berge, Gebirge nennt.

Ebenen, welche sich nicht viel über die Meeresfläche erheben, oder sogar noch unter derselben liegen, nennt man Tiefländer, im Gegensatz zu den Hochländern.

Ein Tiefland ist z. B. die Lombardei, Ungarn, Holland und Belgien, ein großer Theil von Rußland — ein Hochland: Schweden und Norwegen, die Schweiz 2c. Das Niveau des Tieflandes im westlichen Asien liegt 300 Fuße unter dem Meeresspiegel. Es umfaßt eine Fläche von 10000 Quadratmeilen.

Aus dem Begriff des Tieflandes geht hervor, daß dasselbe keine bedeutenden Erhöhungen des Bodens enthalten kann. Die Hochländer dagegen können sowohl mit einzelnen Hervorragungen versehen sein (Gebirgsländer), als auch eine mehr ebene Fläche besitzen (Hochebenen, Plateau's).

B. Tiefländer insbesondere.

Man unterscheidet

a) Küstentiefländer, an den Küsten des Meeres. Sie haben eine geringe Breite.

b) Stromtiefländer, längs des Stromlaufes und zwar entweder auf beiden Ufern, oder nur eines derselben umfassend. Beispiel: das Stromtiefland des Rheins.

c) Tiefländer im Binnenlande. Sie sind die ausgedehntesten. (Ungarn, Norddeutsche Ebene). Oft erstrecken sie sich quer durch einen Continent von einer Meeresküste zur andern hin.

Wenn Küstentiefländer einen sandigen Boden haben, so bilden sich Dünen (S. 60), durch welche die Oberfläche des Landes eine wellenförmige wird. In der Norddeutschen Ebene ist das Tiefland mit großen (erratischen) Blöcken übersäet. Die Stromtiefländer besitzen gewöhnlich fruchtbares, aufgeschwemmtes Land, den sogenannten Aueboden. Die continentalen Tiefländer sind entweder kultivirtes Land, oder grasreiche Weiden (Prärien in Nordamerika, Llanos und Pampas in Südamerika) oder vegetationsarme Steppen, oder von Gewächsen gänzlich entblößte Wüsten.

C. Gebirgsländer insbesondere.

a. Berge, Hügel.

Die Gebirge werden von Hügeln und Bergen zusammengesetzt, die durch Schluchten und Thäler von einander getrennt sind. Die bemerkenswerthesten Formen der Einzelberge lassen sich folgendermaßen klassificiren:

α. die kegelförmige, wie sie öfters beim Basalt vorkommt.

β. die parabolische Form. Der Berg hat die Gestalt eines parabolischen Kegels. Dieser Art sind z. B. die durch Grünstein gehobenen Kieselschieferberge in Hessen und Westphalen.

γ. Die parallelepipedische Form. Die Seitenwände des Bergs steigen senkrecht oder doch beinahe senkrecht in die Höhe, der Gipfel ist abgeplattet. Diese Form besitzen viele Quadersandsteinberge der Sächsischen Schweiz.

δ. die kugelsegmentige. Die Oberfläche des Bergs hat die Gestalt des Mantels eines Kugelsegments. Diese Form tritt sehr häufig auf; sie ist z. B. den Basaltbergen, welche sich aus basaltischen Massengebirgen erheben, eigen.

ε. Hörner nennt man solche Berge, welche eine bedeutende Höhe im Verhältniß zu ihrer Basis besitzen. Hieraus geht hervor, daß die Seitenwände der Hörner scharf ansteigen. In den Alpen bilden sie mitunter Winkel von 50, 60, ja selbst 70° mit der Grundfläche des Bergs.

b. Gebirge.

α. Begrenzungs-Linien und Flächen der Gebirge.

Rücken nennt man die obere Fläche der Gebirge, von welchen aus die Gewässer ihre Richtungen in die Ebenen nehmen. Der Fuß des Gebirges bezeichnet die Grenze desselben und der Ebene, aus welcher es sich erhebt; die Flächen zwischen dem Fuß und Rücken werden die Abfälle des Gebirges genannt. Letztere sind gewöhnlich nach der einen Seite hin steiler, als nach der andern. So z. B. fallen die Alpen und Pyrenäen stärker nach Süden, als nach Norden, der Odenwald und Schwarzwald, desgleichen die Gebirge Scandinaviens stärker nach Westen, als nach Osten, die Vogesen und der Jura stärker nach Osten als nach Westen ab. Unter Gipfelhöhe versteht man die Höhe des höchsten Punktes, unter Kammhöhe die Erhebung der Rückenlinie über eine benachbarte Ebene oder über die Meeresfläche. Pässe sind Quereinschnitte in den Gebirgsrücken; sie bilden den bequemsten Verbindungsweg zwischen den Abfällen des Gebirges.

β. Volumenvertheilung der Gebirge.

Man unterscheidet Kettengebirge, welche eine größere Erstreckung in der Länge, als in der Breite haben, und Massengebirge, bei denen diese beiden Dimensionen nicht viel von einander verschieden sind.

Das größte Kettengebirge bilden die Anden von Südamerika; ihre Längserstreckung beträgt 900 Meilen bei einer Breite von ungefähr 15 Meilen. Der Thüringer Wald, der Odenwald, die Alpen gehören zu den Kettengebirgen; zu den Massengebirgen: der Schwarzwald, das Vogelsgebirge, der Westerwald.

γ. Die Richtung der Gebirgsketten ist entweder
1. eine parallele, wie beim Odenwalde. Oder
2. eine transversale. Von der Hauptlängserstreckung des Gebirges aus laufen nach beiden Seiten hin parallele Ketten, deren Richtung auf die des Gebirgsrückens ganz oder beinahe rechtwinklig ist. Beispiel: die Alpen.
3. Eine radienförmig divergirende. Die Ketten verlaufen, wie die Radien aus dem Mittelpunkt eines Kreises, doch können die einzelnen Ketten eine unterschiedliche Länge besitzen. Beispiel: Cantal. Auch das Vogelsgebirge, obgleich mehr zur Gruppe der Massengebirge gehörend, zeigt ein radienförmiges Auseinanderlaufen seiner Aeste.

c. **Thäler, Schluchten.**

Die Thäler sind rinnenförmige Einschnitte im Gebirge. Ihre Entstehung beruht entweder auf Auswaschungen durch das vom Rücken oder Scheitel der Berge abfließende Wasser, oder auf der Bildung von Spalten in Folge einer Erhebung oder Senkung des Bodens.

Bei jedem Thal unterscheidet man die Thalsohle, d. i. die Grundfläche der Rinne, und die Seitenwände oder das Gehänge des Thals.

Die Thalsohle besitzt gewöhnlich da, wo das Thal entspringt, eine geringe Neigung, letztere verstärkt sich dann in dem Maße, in welchem das Thal von seinem Ausgangspunkte sich entfernt. Doch kommen vorzüglich in größern Gebirgen auch solche Thäler vor, welche gleich an ihrem Entstehungspunkte eine bedeutende Neigung besitzen. — Oft wird das Gefälle der Thalsohle plötzlich durch senkrechte Abstürze unterbrochen, welche man Thalstufen nennt. Fließt ein Bach ꝛc. durch ein solches Thal, so bildet sich an der Thalstufe ein Wasserfall. Zuweilen nimmt auch das Gefälle an einer Stelle des Thales wieder zu; ist die Steigung bedeutender, als das vorherige Fallen der Thalsohle, so entsteht hinter der Steigung thalaufwärts ein See oder Teich.

Die Wände des Thals bilden verschiedene Winkel mit der Horizontalen. Es gibt Thalgehänge, welche unten fast rechtwinklig an die Thalsohle stoßen, während ihr oberer Theil abgeflacht ist und ebenso häufig kommt der umgekehrte Fall vor. Je enger die Thäler sind, um so steiler erheben sich gewöhnlich die Gehänge.

Je nach der Breite der Thalsohle lassen sich Thalengen und Thalweitungen unterscheiden. Beide gehen oft in einander über. Hat die Thalsohle eine kreisflächenartige Figur und steigen, wie gewöhnlich, die Gehänge steil in die Höhe, so nennt man das Thal ein Kesselthal.

Die Richtung der Thäler gibt zu den Benennungen: Längen- und Querthäler Veranlassung. Jene (wie z. B. das Rhonethal) laufen mit dem Rücken des Gebirgszuges parallel, diese bilden mit demselben oder auch mit den Längenthälern einen rechten Winkel. Thäler, deren Richtung zwi-

schen diejenige der Längen- und Querthäler fällt, nennt man auch wohl diagonale Thäler. Beginnt ein Thal am Rücken des Gebirges und setzt es sich bis zum Fuße desselben fort, so heißt es ein Hauptthal; Nebenthäler sind solche, welche in ein Hauptthal einmünden. Die Höhe durch welche zwei Thäler von einander getrennt werden, nennt man ein Joch.

Kleinere Thäler von geringer Längserstreckung bezeichnet man als Schluchten oder Klingen. In der Schweiz heißt man sie auch wohl Tosel.

D. Hochebenen insbesondere.

Unter einer Hochebene (einem Plateau) versteht man eine ebene Fläche von verhältnißmäßig bedeutender Ausdehnung, welche mindestens 800—1000 Fuße über den Meeresspiel erhaben sein muß, und keine größeren Hervorragungen (Berge) enthalten darf. Die Längen- und Breitendimensionen der Hochebenen können eben sowohl gleich, als verschieden sein. Die Plateau's gestatten den Gewässern nur langsamen Abfluß, sie sind deßwegen zu Versumpfungen und zur Torfmoorbildung sehr geneigt.

Wird ein Plateau durch ein Tiefland begrenzt, so steigt es aus diesem gewöhnlich nicht allmählig, sondern in terassenförmigen Absätzen auf.

Deutschland hat mehrere nicht unansehnliche Hochebenen, wie z. B. die Bayerische, Fränkische, Böhmische. Ihre Meereshöhe beträgt zwischen 1000—2000 Fußen. Uebrigens enthält fast jedes Gebirge kleinere Flächen, die als Hochebenen betrachtet werden können, wie z. B. der Harz, Schwarzwald, das Vogelsgebirge (Oberwald) u. s. w.

Die größten Hochebenen kommen in Centralasien, in Nord- und Südamerika vor. Sie besitzen an 16000 Fuße Meereshöhe.

2. Geographische Breite und Länge, Erhebung über die Meeresfläche.

Die Lage eines Ortes auf der Erdoberfläche wird bestimmt:

a. durch seinen Abstand vom Aequator; man nennt diesen Abstand die geographische Breite oder Polhöhe, rechnet sie nördlich und südlich vom Aequator und drückt sie in Graden, Minuten und Secunden aus, indem man sich vom Aequator durch die Mittagslinie des Ortes nach dem Pol hin einen Kreis gezogen denkt. So ist die Breite des Aequators = 0°, die des Poles = 90°.

b. durch seinen Abstand von einem den Aequator in einem rechten Winkel schneidenden Halbkreise, welchen man gewöhnlich durch die Insel Ferro gelegt denkt. Hiernach unterscheidet man östliche und westliche Länge. Uebrigens zählen Viele von dem Meridian aus, welcher durch die Hauptsternwarte ihres Landes geht, so z. B. die Franzosen von dem Meridian von Paris, die Engländer von dem Meridian von Greenwich aus.

Ueber die Methoden zur Bestimmung der Länge und Breite eines Ortes gibt die mathematische Geographie Anleitung.

c) durch seinen senkrechten Abstand von der Meeresfläche oder deren horizontaler Verlängerung. Man nennt diesen Abstand auch wohl die absolute Höhe des Ortes, während man unter relativer Höhe den senkrechten Abstand von der Horizontalebene eines benachbarten Ortes versteht.

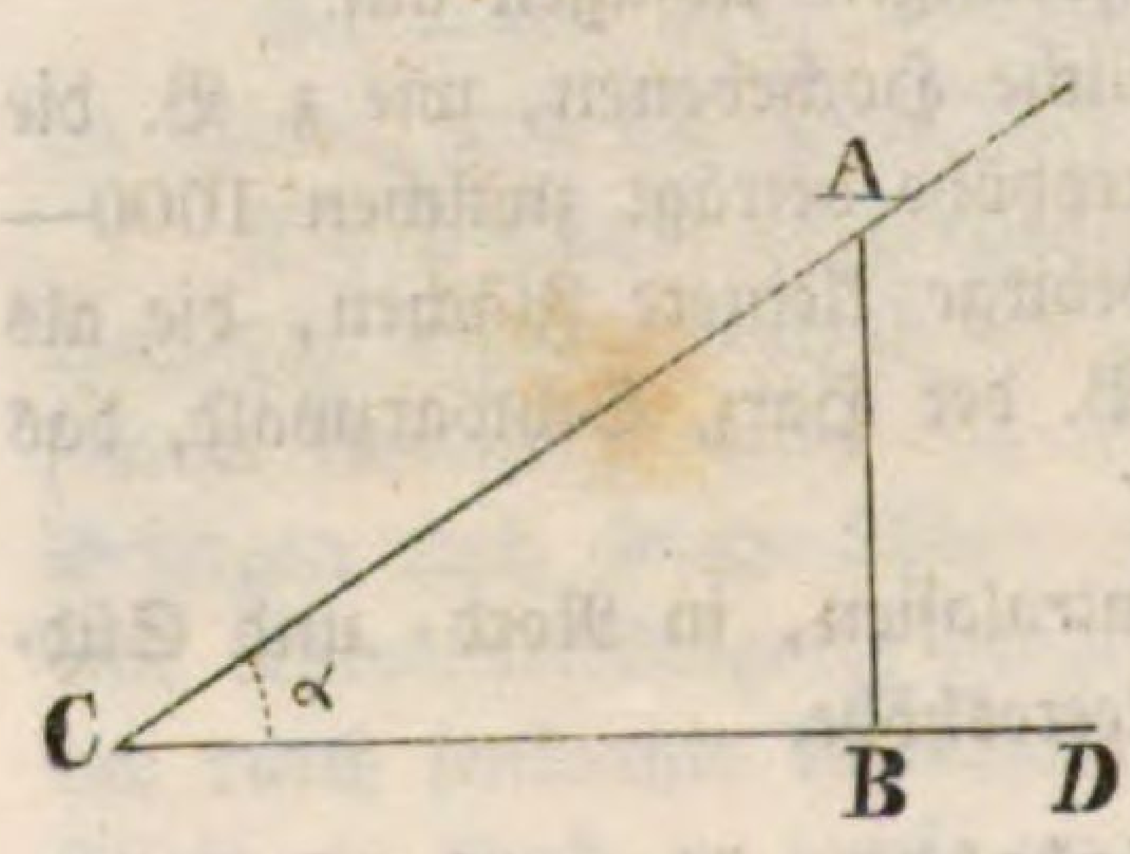
Die Ermittlung beider Arten von Höhen geschieht entweder auf barometrischem, oder auf trigonometrischem Wege, wovon später ein Mehreres.

3. Abdachung.

a. Begriff.

Unter dieser begreift man die Neigung einer Fläche oder Linie gegen den Horizont. Das Maß der Neigung nennt man die Böschung und drückt diese durch einen Bruch aus, dessen Zähler die senkrechte Entfernung AB eines Punktes A der Fläche oder Linie über einer horizontalen CD, auf welche die Neigung bezogen wird, bildet, dessen Nenner durch die Entfernung BC des Scheitels des Neigungswinkels von dem Fußpunkt der Senkrechten AB vorgestellt wird. (Fig. 61.) Ist blos der Neigungswinkel α bekannt, so erhält man das Böschungsverhältniß in der Tangente des Neigungswinkels α. Gewöhnlich gibt man dem Bruch, durch welchen die Böschung ausgedrückt wird, den Zähler = 1. In diesem Falle wird der Nenner durch die Cotangente des Neigungswinkels α gebildet.

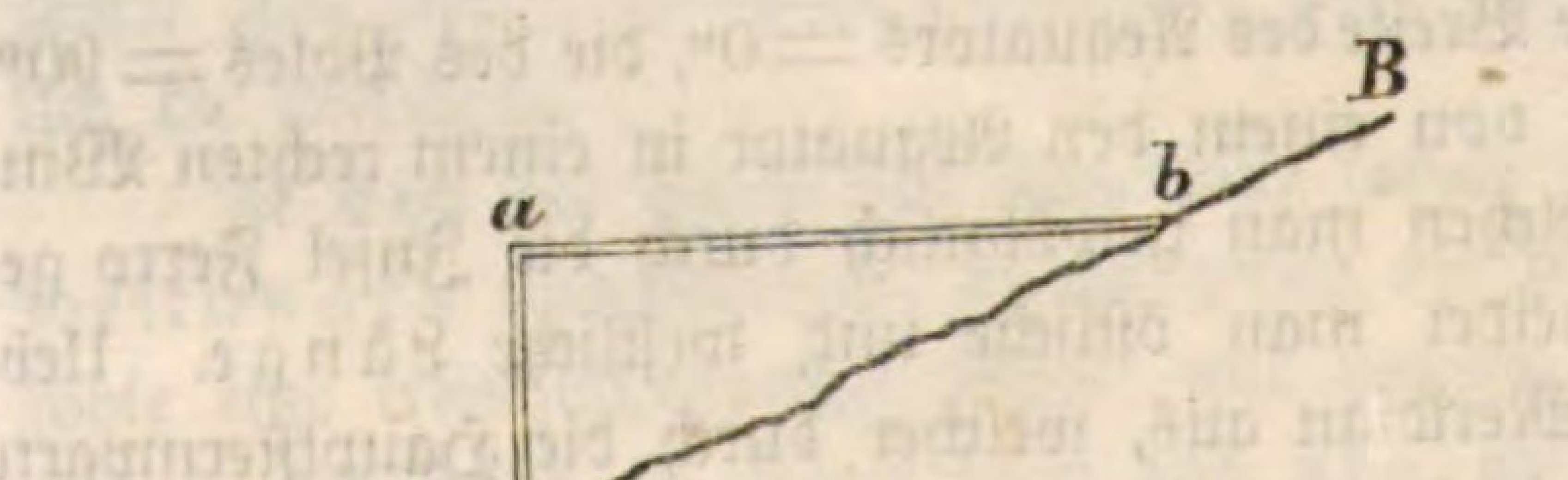
Fig. 61.



b. Bestimmung der Abdachung.

Diese erfolgt am genauesten mit Hülfe einer Wasserwage, oder eines Theodoliten, dessen Höhenkreis mit einer Röhrenlibelle versehen ist. Hat man diese Instrumente nicht zur Hand, so leistet folgendes Verfahren da, wo es nicht auf große Genauigkeit ankommt, gute Dienste. Gesetzt, es sei die Böschung der Bergwand AB zu bestimmen. (Fig. 62.) Man begebe sich auf den Punkt A und halte eine (möglichst lange) Latte ab von bekannter Länge horizontal nach der Bergwand hin, hierauf messe man den Abstand a A. War z. B. a b = 20′, a A = 10′, so ist das Böschungsverhältniß ½, wodurch angedeu-

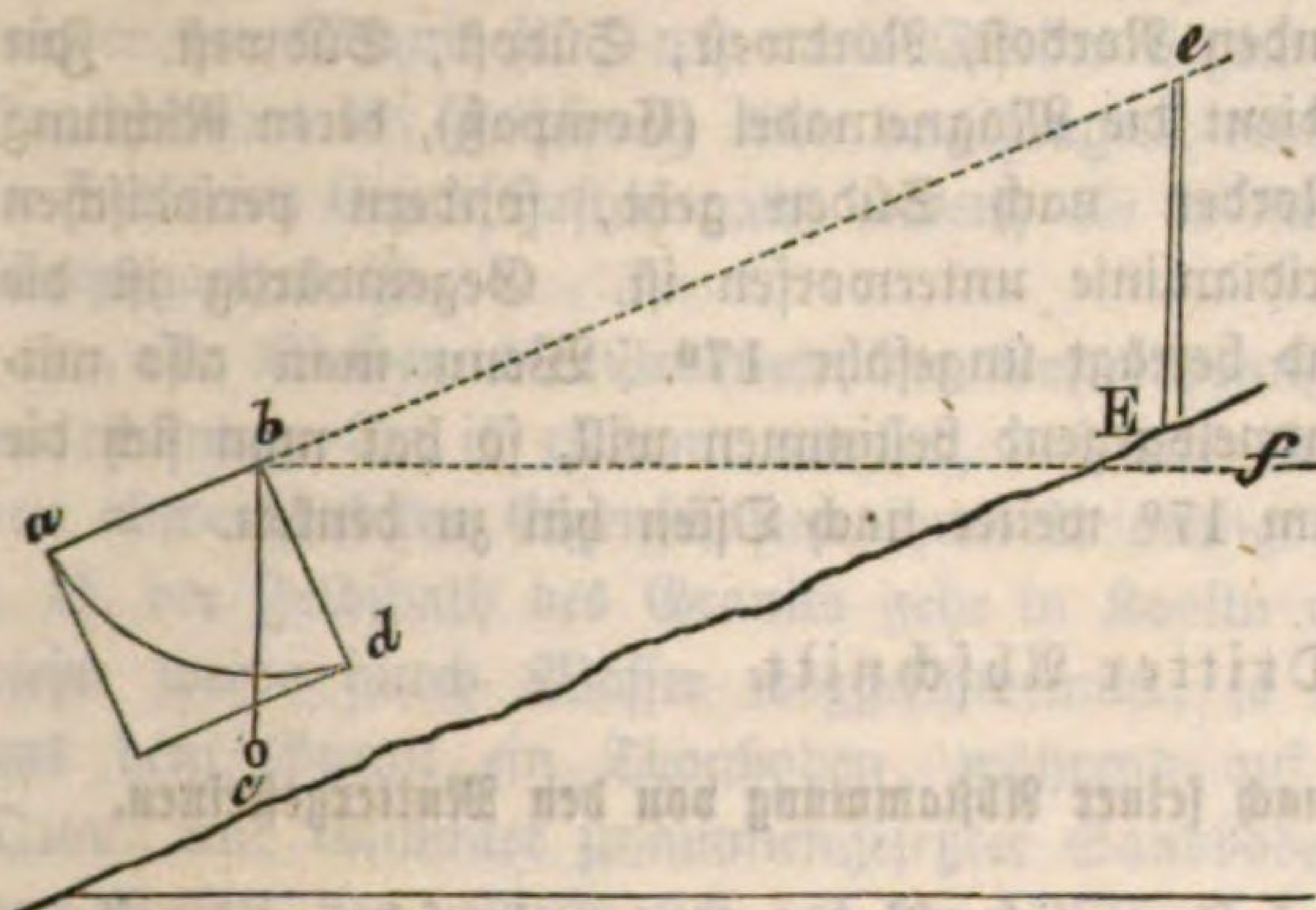
Fig. 62.



tet wird, daß auf 2 Fuße horizontaler Entfernung 1 Fuß senkrechte Höhe kommt. Der Neigungswinkel wäre, da seine Tangente $= \frac{aA}{ab} = {}^{10}/_{20} =$ 0,5 ist, 20° 34',

Auch mittelst der gemeinen Setzwage und des Hoßfeldschen Meßbrettchens läßt sich die Abdachung bestimmen. Zu diesem Ende muß letzteres mit

Fig. 63.



einem Gradbogen versehen sein. In E (Fig. 63.) bringt man einen Stab an, und merkt sich auf demselben einen Punkt e, dessen Höhe über E gleich der Höhe ist, in welcher das Auge a des Beobachters über dem Boden sich befindet. Man visirt nun über die obere Kante des Brettchens hin, bis man den Punkt e in der Verlängerung dieser Kante erblickt. Der Winkel c b d, den das Loth in seiner jetzigen Lage b c mit der ursprünglich senkrechten Richtung b d bildet, ist der Neigungswinkel des Berges. Denn es ist ebd = fbc = 1 R; zieht man von beiden fbd = fbd ab, so bleibt ebf = cbd.

i. Benennungen für die Abdachungsgrade.

Bildet die Oberfläche des Bodens mit dem Horizonte einen Winkel

von 1—5 °, so nennt man die Neigung **sanft abhängig**,
" 5—10°, " " " " " **mäßig steil**,
" 10—15°, " " " " " **steil**,
" 15—20°, " " " " " **sehr steil**,
" 20—40°, " " " " " **außerordentlich steil**.

Die meisten Flüsse haben ein Gefäll von nur wenigen Minuten; so beträgt dasjenige des Rheins von Straßburg bis Dortrecht $^1/_3$ Fuß auf 1000 Fuß Stromlänge, also etwa 1 Minute 8 Secunden. Steigt das Gefäll bis auf mehrere Grade, so entsteht schon ein Wasserfall.

Beim Abschätzen der Böschungen nach dem Augenmaße irrt man sehr leicht; gewöhnlich wird das Gefäll größer angesprochen, als es wirklich ist. Eine Neigung von nur 10 Minuten oder $^1/_{344}$ ist für das Auge schon wohl bemerkbar. Ein Fußpfad von 31 Grad Neigung ($^1/_{166}$) läßt sich auf festem Boden nur mit Mühe ersteigen; über 37 Grad ($^1/_{133}$) Neigung hinaus kann man Abhänge kaum mehr erklimmen.

In Frankreich hat man als Maximum der Neigung für Chausseen $^1/_{20}$ = 2 Grad 52 Minuten angenommen. Die größte Steigung der Englischen Eisenbahnen beträgt 1 Grad 22 Minuten ($^1/_{96}$).

4. Exposition.

Man versteht unter dieser die Richtung einer geneigten Fläche nach der Himmelsgegend. Gewöhnlich unterscheidet man blos Nord, Süd, Ost, West und die zwischen diesen liegenden Nordost, Nordwest, Südost, Südwest. Zur Bestimmung der Exposition dient die Magnetnadel (Compaß), deren Richtung indessen nicht genau von Norden nach Süden geht, sondern periodischen Schwankungen um die Meridianlinie unterworfen ist. Gegenwärtig ist die Abweichung eine westliche und beträgt ungefähr 17°. Wenn man also mittelst eines Compasses die Himmelsgegend bestimmen will, so hat man sich die Richtung der Magnetnadel um 17° weiter nach Osten hin zu denken.

Dritter Abschnitt.

Klassifikation des Bodens nach seiner Abstammung von den Muttergesteinen.

1. Die Erfahrung, daß sämmtliche Bodenarten, abgesehen von ihren organischen Bestandtheilen, aus den Gesteinsarten entstanden sind, welche ursprünglich die feste Erdrinde zusammensetzten, hat zu einer Klassifikation der Bodenarten nach ihrer Abstammung von den Muttergesteinen Veranlassung gegeben. So hat man Granit-, Gneiß-, Glimmerschiefer-, Porphyr-, Basaltboden u. s. w. unterschieden. Diese Eintheilung läßt sich nicht bei allen Bodenarten durchführen, weil von den wenigsten bekannt ist, von welchen Gesteinen sie abzuleiten sind, so z. B. nicht für das meiste aufgeschwemmte Land, den Thon u. s. w.; mit der erwähnten Klassification kann übrigens nur ein sehr allgemeiner Begriff von den Eigenschaften der Bodenarten gewonnen werden, und zwar aus folgenden Gründen:

a) Ist die Zusammensetzung der Felsarten zu schwankend, als daß aus irgend einer von ihnen immer der nämliche Boden sich bilden könnte. So enthält z. B. der Granit oft fast nur Quarz, und der Feldspath nebst dem Glimmer sind zurückgedrängt, oder es herrscht umgekehrt der Feldspath vor. Gesetzt aber auch, das Verhältniß dieser drei Mineralien im Granit bleibe überall eines und dasselbe, so zeigen doch wieder die Feldspath- und Glimmerarten so viele Unterschiede unter sich, daß unmöglich alle Granite die nämliche Bodenart liefern können. Noch größer muß die Abweichung bei den aus Hornblende oder Augit zusammengesetzten Felsarten sein, weil von diesen beiden Mineralien thonerdefreie und thonerdehaltige Varietäten bestehen Oft hängen die Eigenschaften eines Bodens hauptsächlich von den accessorischen Bestandtheilen des Muttergesteins ab; wie sehr aber der Gehalt an diesen differirt, ist früher schon bemerkt worden. So überwiegt z. B. stellenweise der

Olivin im Basalt alle übrigen Bestandtheile dieser Felsart, während an andern Orten der Olivin fast gänzlich fehlt. Oft enthält der bunte Sandstein nur zusammengefrittete Quarzkörner ohne Bindemittel; ein anderes Mal herrscht letzteres (z. B. als rother Thon) ganz und gar vor, so daß auch nicht ein Quarzkörnchen in mehreren Kubikfußen des Gesteins zu bemerken ist,

b) liefert eine und dieselbe Felsart, je nach dem Grad der Verwitterung, in welchem sie sich befindet, sehr verschiedene Bodenarten. Halten wir wieder den Granit fest; wie viele Glieder liegen zwischen dem Feldspath und Kaolin! Hat der Feldspath eben angefangen, erdig und zerreiblich zu werden, so sind seine Eigenschaften ganz andere, als wenn er schon in plastischen Thon übergegangen ist.

c) Bleiben die Producte der Verwitterung einer Felsart nicht immer bei einander. So ist es denn möglich, daß aus einem Gestein Bodenarten von den abweichendsten Eigenschaften ihren Ursprung nehmen. Denken wir uns z. B. der Feldspath des Granits gehe in Kaolin oder doch in Thon über und dieser werde durch Wasser weggeschwemmt, so entsteht auf der einen Seite aus dem Granit ein Thonboden, während auf der andern Seite ein aus Quarz und Glimmer zusammengesetzter Sandboden sich bildet. Ebenso kann aus Basalt, der ursprünglich gar keinen Quarz enthält, neben Thonboden ein Quarzsandboden entstehen, wenn die bei der Zersetzung des Feldspaths frei werdende Kieselsäure in unlöslichem Zustand sich abscheidet. Viele Quarzsand- und Thonlager in der Molasse sind auf diese Weise aus der Verwitterung des Basaltes hervorgegangen.

2. Trotzdem, daß der Klassification der Bodenarten nach ihrer Abstammung von den betreffenden Muttergesteinen viele Schwierigkeiten entgegenstehen, findet man dieselbe doch häufig angewandt und sie hat auch, wenn man sie mit gehöriger Vorsicht und innerhalb der richtigen Grenzen gebraucht, ihren Nutzen. Nur darf man in diesem Falle keine zu feinen Unterscheidungen machen und die Bezeichnungen der Bodenarten nur nach den Hauptgesteinen vornehmen. Auch setzt man dabei voraus, daß die unlöslichen Producte der Verwitterung an der Lagerstätte des Muttergesteins verbleiben.

Vierter Abschnitt.

Klassifikation der Bodenarten nach ihren vorwaltenden Bestandtheilen.

1. Einleitung.

Die Erfahrung und Beobachtung haben dargethan, daß eine nur geringe Anzahl von Mineralbestandtheilen als vorherrschende Ingredienzien der Bodenarten auftreten. Diese sind: Thon, Lehm, Kalk, Gyps, Sand, Eisen, Magnesia und Humus. Je nachdem der eine oder der andere von diesen Bestandtheilen vorwaltet, spricht man von Thonboden, Lehmboden, Sandboden u. s. w.; daß auch hier Uebergänge sich zeigen, indem eine Bodenart zwei dieser Hauptbestandtheile in gleichem Maße enthält, liegt auf der Hand.

2. Folgende Bodenarten sind nach den angegebenen Momenten unterschieden worden:

A. Thonboden.

a. Begriff von Thon.

Wir machen hier nochmals darauf aufmerksam, daß man unter Thon nicht Thonerde, sondern zersetzte feldspathartige Mineralien versteht. Je nachdem die Zersetzung dieser mehr oder weniger weit vorgeschritten ist, sind auch die Eigenschaften des Thons andere. Der reinste Kaolin z. B. enthält gar keine Alkalien mehr, während der fruchtbare Thon der Ackererden noch sehr viel von diesen besitzt. Durch die Cultur wird der Thon nach und nach in Kaolin umgewandelt, weil die Pflanzen dem Thon die Alkalien und alkalischen Erden entziehen.

b. Ursprung des Thons.

Alle diejenigen Gesteine welche thonerdehaltige Mineralien besitzen, können Thonboden liefern; so z. B. der Granit, wenn er arm an Quarz ist, oder dieser durch Wasserfluthen von den Verwitterungsproducten des Feldspaths und des Glimmers getrennt wird, ferner unter ähnlichen Bedingungen der Syenit, Grünstein, Felsitporphyr, Melaphyr, Basalt, Phonolith und Trachyt. Ja es können selbst Sandsteine, welche als Bindemittel Thon in größerer Menge enthalten, zur Entstehung von Thonboden Veranlassung geben. In diesem Falle muß eine Trennung des Thons von dem Sand vor sich gehen.

Manche an Thonerde nicht sehr reichen Gesteine sind mit einer thonerdehaltigen Erdrinde bedeckt. Oft läßt es sich an solchen Stellen nachweisen, daß die Thonerde nicht von andern Localitäten herbeigeführt worden ist. Man kann daher nur annehmen, daß ein Auslaugungsprozeß stattgefunden habe, in Folge dessen die Thonerde im Rückstand blieb. Solche Gesteine, an welchen man diese Erscheinung beobachtet hat, sind namentlich Kalke, auch selbst, wenn sie nur 1% Thonerde besitzen. Der Kalk wurde durch kohlensäurehaltiges Wasser hinweggeführt. Allerdings mögen während dieses Vorgangs Tausende von Jahren verflossen sein. Man wird indessen in der Annahme eines solchen Zeitraums nichts Monströses finden, wenn man erwägt, daß auch die Bildung des Thons aus Feldspath unzweifelhaft eine ungeheure Zahl von Jahren erfordert hat, selbst für den Fall, daß in vorgeschichtlicher Zeit die Bedingungen der Verwitterung in reichlicherem Maße vorhanden gewesen seien.

c. Vorkommen des Thons.

In großer Häufigkeit findet sich der Thon in den Diluvial- und Alluvialbildungen; allein auch ältere geognostische Formationen, wie z. B. die Mo-

lasse, Kreide, der bunte Sandstein u. s. w. haben mitunter bedeutende Thonlager aufzuweisen.

d. **Kennzeichen des Thons.**

Der Thon besitzt gewöhnlich eine weißliche, bläuliche oder graue, ist er stark mit organischen Resten vermengt, eine schwarze, enthält er viel Eisenoxydhydrat, eine rothbraune Farbe.

Er hängt an der Zunge an und entwickelt beim Anhauchen den sogenannten Thongeruch, herrührend von absorbirtem Ammoniak.

Der eigentliche Thon befindet sich in einem Zustande sehr feiner Vertheilung. Wenn man eine thonerdehaltige Erde mit Wasser anrührt, so bleiben die Thontheilchen in diesem suspendirt, während die gröbere, schwerere Erde, z. B. der Sand, zu Boden fällt. Oefteres Anrühren und Abgießen der trüben Flüssigkeit auf ein Filter bietet daher ein Mittel dar, um den Thon aus einer Erdart vollständig zu entfernen und somit seine Menge zu bestimmen. Man nennt diese Operation das Schlämmen.

Beim Austrocknen schwindet der Thon, d. h. er zieht sich zusammen und erhält Sprünge. Ganz ausgetrocknet ist der Thon mitunter steinhart und schwer zu bearbeiten. Angenäßt ist er schlüpfrig und hängt den Ackerwerkzeugen (Pflug, Hacke) hartnäckig an.

Man nennt den Thon plastisch, formbar, weil er sich kneten und in beliebige Formen (z. B. die Töpferwaaren) bringen läßt.

Mit dem Nagel eines Fingers gestrichen, glättet sich der Thon. Der Strich ist glänzend und eben.

e. **Arten des Thonbodens.**

Je nach der Reinheit des Thons unterscheidet man

α. strengen Thonboden. Er soll 75—90% Thon, außerdem aber nur feinen Sand und sonst keinen untergeordneten Bestandtheil bis zum Betrag von 5—10% enthalten. (Hundeshagen.)

β. Gemeinen Thonboden. Dieser soll 50—70% Thon enthalten.

B. **Lehmboden.**

a. **Begriff.**

Unter Lehm versteht man eine Mengung von kalkhaltigem Thon mit Sand in dem Verhältniß von 30—50% eigentlichem Thon, nicht über 5% Kalk und im Uebrigen Sand. Letzterer braucht nicht gerade Quarzsand zu sein, er besteht meist aus unzersetzten Fragmenten des Gesteins, aus welchem der Lehm sich gebildet hat.

b. **Eintheilung des Lehmbodens.**

Man unterscheidet

α. strengen Lehmboden mit 50—65% reinem Lehm;

β. gemeinen Lehmboden mit 35—50% reinem Lehm.

c. **Kennzeichen des Lehms.**

Der Lehm hat in seinen Eigenschaften am meisten Aehnlichkeit mit dem Thon; es ist deßhalb wichtig, die Merkmale zu kennen, welche ihn vom Thon unterscheiden.

Der Lehm ist nicht fettig anzufühlen, er glättet sich unter dem Nagel nicht so vollkommen, wie der Thon und schwindet beim Austrocknen nicht beträchtlich. Sehr characteristisch für den Lehm ist seine rothbraune bis braune Färbung. Sie rührt von Eisenoxydhydrat her, welches der Lehm stets und zwar etwa zu 5% enthält. Dieses Eisen, sowie die Sandtheile verleihen dem Lehm die Eigenschaft einer geringern Formbarkeit.

d. **Ursprung des Lehms.**

Der Lehm ist, gleich dem Thon, aus solchen Felsarten entstanden, welche thonerdehaltige Mineralien führen. Wahrscheinlich hat sich aus ihm zuerst der Thon durch fortschreitende Verwitterung, oder auch durch einen natürlichen Schlämmprozeß gebildet.

Der Lehm kann sich entweder noch auf der ursprünglichen Lagerstätte seines Muttergesteins befinden, oder er ist durch Wasserfluthen von diesem hinweg und an andere Orte geführt worden. Letzteres gilt insbesondere von der Mehrzahl Lehmablagerungen in den Thälern und Flußniederungen. Der Löß des Rheinthals (s. Diluvialgruppe) besteht aus nichts Anderem, als sehr feinen Fragmenten der Felsarten, welche dieses Thal einfassen.

C. Kalkboden.

a. **Begriff.**

Ueber die Menge kohlensauren Kalks, welche erfordlich ist, damit ein Boden als Kalkboden bezeichnet werden kann, weichen die Angaben der Agronomen sehr ab. Schübler schreibt den Bodenarten dieser Klasse über 20% Kalk zu, während nach Andern der Kalkboden 30—75% davon enthalten soll.

Der kohlensaure Kalk ist im Boden entweder in der Form von kleinen Steinchen und Sand, oder in ganz fein zertheiltem Zustand enthalten, wie man ihn durch Fällung eines Kalksalzes mit kohlensaurem Ammoniak darstellen kann. Die Eigenschaften des eigentlichen Kalkbodens können nur durch diesen fein zertheilten Kalk bestimmt werden. Nimmt man blos letzteren in Rechnung, so möchte sich der Kalkgehalt des Kalkbodens viel geringer herausstellen, als oben angegeben ist. Ueberhaupt fällt die Mehrzahl der Kalkböden mit den Lehmböden zusammen.

b. **Ursprung des Kalkbodens.**

Der Kalkboden kann sich aus allen eigentlichen Kalkgesteinen, vom Ur- und Uebergangskalk herauf bis zu den Kalkschichten der Alluvialformationen bilden. Aber auch plutonische Gesteine, insbesondere diejenigen, welche Lab-

rador enthalten, und Sandsteine mit kalkigem Bindemittel können zur Entstehung des Kalkbodens beitragen.

Schon in der Lehre von der Verwitterung wurde gezeigt, daß der Kalk aus den Gesteinen durch kohlensäurehaltiges Wasser als doppeltkohlensaures Salz aufgelöst wird. Wenn mit dem verdunstenden Wasser zugleich die Kohlensäure sich entfernt, oder wenn letztere durch die Bewegung des Wassers ausgetrieben wird, so schlägt sich neutraler kohlensaurer Kalk in Gestalt eines feinen Pulvers nieder.

Sehr irrig ist die Ansicht, als ob aller Boden auf Kalkgestein auch immer Kalkboden sein müsse. Solcher Boden kann von andern Orten her auf dieses Gestein angeschwemmt worden sein. Aber, wenn dies auch nicht der Fall ist, so kann doch die aus der Verwitterung des Kalkgesteins entstandene Erde so viel an andern Bestandtheilen außer Kalk enthalten, daß sie gar nicht in die Gruppe des Kalkbodens gehört. Ist z. B. der Kalk reich an Thon und Kieselerde und dabei der Ueberrieselung durch Wasser ausgesetzt, so wird sich viel eher ein Lehmboden aus dem Kalkgestein erzeugen.

c. Kennzeichen des Kalkbodens.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, daß die Eigenschaften der meisten Kalkböden mit denen des Lehmbodens zusammenfallen. Der Kalkboden braust, wenn man ihn mit einer Säure, z. B. Salzsäure befeuchtet; diese Eigenschaft zeigen aber auch noch andere Böden, welche keinen Kalk, aber kohlensaure Magnesia oder kohlensaure Alkalien besitzen.

Im eigentlichen Kalkboden, welcher sich durch größere Trockenheit von dem Lehmboden unterscheidet, zersetzt sich der Dünger ziemlich schnell, weil er durch die basische Kalkerde zur Bildung von Humussubstanzen disponirt wird.

d. Eintheilung.

Je nachdem Thon, Lehm oder Sand dem Kalkboden in größern Mengen beigemischt ist, unterscheidet man

α. Thonigen Kalkboden,
β. Lehmigen Kalkboden (die meisten Kalkböden),
γ. Sandigen Kalkboden.

D. Gypsboden.

a. Begriff.

Er zeichnet sich durch einen Gehalt an Gyps (schwefelsaurem Kalk) aus. Der Gyps kann in dieser Erdart entweder in Form eines feinen Pulvers, oder in gröbern Theilchen enthalten sein.

b. Ursprung des Gypsbodens.

Der Gypsboden entsteht hauptsächlich aus der Verwitterung des Gypses indem dieser von Wasser aufgelöst, und, wenn dieses wieder verdunstet, als

Pulver abgesetzt wird. Die Gypslager in der Zechstein-, Trias-, Jura- und Molassegruppe geben vorzüglich zur Bildung von Gypsboden Veranlassung. Dieser entsteht aber auch, wenn schwefelsaure Salze auf kohlensaure Salze einwirken.

c. Eigenschaften.

Vom Gypsboden gilt, was auch schon für den Kalkboden gesagt wurde; es bilden nämlich die im Gyps vorkommenden accessorischen Bestandtheile gewöhnlich den eigentlichen Boden, während der Gyps selbst von diesem einen kleinern Theil ausmacht. Diese Thatsache erklärt sich einfach, wenn man die große Löslichkeit des Gypses in Rechnung zieht.

E. Mergelboden.

a. Begriff.

Unter Mergel versteht man einen kalkhaltigen Thon oder Lehm, vermengt mit Sand. Folgende Analysen geben die Zusammensetzung von sieben Mergelarten, welche am linken Rheinufer von Mainz bis Worms vorkommen.

Kohlens. Kalk	12,275	14,111	18,808	20,246	25,176	32,143	36,066
Kohlens. Magnesia	0,975	Spuren	1,228	3,211	2,223	1,544	1,106
Kali	0,087	0,082	0,092	0,191	0,105	0,101	0,163
Wasser	2,036	2,146	2,111	1,311	1,934	1,520	1,555
Thon, Sand, Eisenoxyd	84,525	82,830	76,827	74,325	69,570	64,214	60,065
Ammoniak	0,0047	0,0077	0,0988	0,0768	0,0736	0,0955	0,0579
	99,9027	99,1767	99,1648	99,3608	99,0816	99,6175	99,0129

b. Ursprung.

Der Mergel ist aus der Verwitterung kalkhaltiger Feldspathe 2c. (z. B. des Labradors), oder thonhaltiger Kalke entstanden. Er kann aber auch durch Zusammenschwemmen von Kalk zu Thon, und umgekehrt gebildet worden sein.

Der Mergel kommt in vielen Formationen, nicht selten sogar als ein ausgebildetes und wichtiges Glied, vor. So in der Grauwackengruppe, wo er mit Kalk- und Sandsteinen abwechselt, in der Steinkohlenformat.on, der Formation des Kupferschiefers (dieser ist ein, häufig mit Kupfererzen versehener schieferiger Mergel), der Triaspruppe (zwischen dem Keuper- und bunten Sandstein oft in 300—400 Fuß Mächtigkeit), in der Jura- und Liasformation, der Kreidegruppe (Plänermergel).

c. Kennzeichen.

Der Mergel braust mit Säuren wegen seines Gehaltes an kohlensaurem Kalk. Er ist zum Theil geschiefert, theils tritt er staubartig auf. Letzterer ballt sich, wenn er befeuchtet wird. Von Farbe ist der Mergel grau, röthlich, bräunlich oder graugelb.

d. **Eintheilung des Mergelbodens.**

Nach dem relativen Gehalt von Thon, Kalk und Sand unterscheidet man:

α. Thonmergel mit 50—75 % Thon, 25—25 % kohlensauren Kalk, 0—5 % Sand.

β. Kalkmergel „ 10—25 % „ 75—90 % „ „ 0—10 % Sand.

γ. Sandmergel bis 10 % „ 10—50 % „ „ 50—75 % Sand.

F. Talkboden.

a. **Begriff.**

Er soll wenigstens 10 % kohlensaure Magnesia enthalten. (Hundeshagen).

b. **Ursprung.**

Der Talkboden entsteht vorzüglich aus Augit-, Hornblende-, Glimmer- und Chloritgesteinen. Dolomite möchten seltener, als man gewöhnlich annimmt, Talkboden liefern, weil der Dolomit sehr schwer verwittert.

c. **Kennzeichen.**

Die Bittererde im Talkboden läßt sich nur durch die chemische Analyse nachweisen.

G. Eisenboden.

a. **Begriff.**

Er soll wenigstens 10 % freies, durch Säuren ausziehbares, Eisenoxydhydrat enthalten (Hundeshagen). Sprengel schreibt ihm 15—30 % Eisenoxyd zu.

b. **Ursprung.**

Der Eisenboden kann aus allen eisenhaltigen Gesteinen entstehen. Er findet sich häufig auf secundärer Lagerstätte.

c. **Kennzeichen.**

Braunrothe Färbung und rauher Bruch.

H. Sandboden.

a. **Begriff und Entstehung.**

Man versteht unter Sandboden eine solche Erdart, in welcher höchstens 10 % abschlämmbare Theile, im übrigen aber Sand, enthalten sind.

Der Sand entsteht entweder durch unvollständige Verwitterung oder durch mechanische Zertrümmerung der Gesteine, oder durch chemischen Niederschlag von gewissen Mineralsubstanzen (Kieselerde, Kalk, Eisen ꝛc.), welche in Flüssigkeiten aufgelöst waren.

Die Größe der Sandkörner darf eine Linie nicht überschreiten; haben sie etwas stärkere Dimensionen, so geht der Sand in Kies über.

Der meiste Sandboden hat sich nicht auf seiner gegenwärtigen Lagerstätte gebildet, sondern ist dahin durch Wasser, Winde u. s. w. geführt worden.

Die am häufigsten vorkommenden Sandarten sind:

Quarzsand, Kalksand, Glimmersand, Eisensand, Muschelsand (aus zertrümmerten Muscheln an den Gestaden des Meeres) u. s. w.

b. **Kennzeichen**

des Sandes bilden seine Körner- oder Schuppenform (letztere bei Glimmersand) und sein geringer Zusammenhang. Die übrigen Eigenschaften des Sandes werden in der Folge namhaft gemacht werden.

c. **Eintheilung des Sandbodens.**

Sind dem Sand Thon, Lehm, Kalk, Mergel oder Humus beigemengt, so unterscheidet man, wenn diese Stoffe in so beträchtlichen Mengen auftreten, daß sie die Eigenschaften des Sandbodens theilweise aufheben:

α. Thonigen Sandboden,
β. Lehmigen Sandboden,
γ. Kalkigen Sandboden,
δ. Mergel-Sandboden,
ε. Humosen Sandboden.

Nimmt aber der Sand in dem Thon-, Lehm-, Kalk-, Mergel- und Humusboden eine mehr untergeordnete Stelle ein, so setzt man diesen Bodenarten das Wort sandig vor; man spricht also in diesem Falle von sandigem Thon-, Lehm-, Kalk-, Mergel- und Humusboden.

I. **Humusboden.**

a. **Begriff von Humus.**

Mit dem Wort Humus werden verschiedenartige Begriffe verbunden. Saussure versteht unter demselben die erdige, schwarzbraune Materie, mit welcher abgestorbene Theile von Vegetabilien bedeckt sind, nachdem sie einige Zeit an der Luft gelegen haben. Schübler und mit ihm die meisten Agronomen haben, wenn sie von Humus im Allgemeinen reden, immer die Humussäuren im Auge.

Offenbar ist es angemessen, das Wort Humus in der Bedeutung zu nehmen, welche ihm der Landwirth und der Forstmann unterlegen. Diese verstehen aber unter Humus weder die Saussure'sche Materie, noch die Humussäuren allein, sondern sie begreifen unter demselben alle in Zersetzung begriffenen organischen Substanzen. In diesem Sinne wollen auch wir das Wort Humus erklären.

b. Eintheilung.

Je nachdem der Humus von Pflanzen oder von Thieren stammt und nach den Pflanzenarten, sowie nach den Umständen, unter welchen die Verwesung vor sich geht, ist auch die Qualität des Humus unterschiedlich. Es lassen sich folgende Eintheilungen machen:

α. Humus, gebildet bei vollkommenem Zutritt der Luft.

Diese Humusart, welche wir der Kürze halber den eigentlichen Humus nennen wollen, ist am meisten verbreitet. Sie entsteht hauptsächlich durch die abgefallenen Blätter und Nadeln der Bäume und Sträucher, durch das den Boden in Nadelwaldungen bedeckende Moos und durch andere krautartige Gewächse, Gräser, Farnkräuter u. s. w. In den Waldungen tragen die dünnen Zweige der Bäume viel zur Humusbildung bei, in so weit sie nicht von den Leseholzsammlern dem Walde entnommen werden.

Der bei vollkommenem Luftzutritt aus abgestorbenen Pflanzen erzeugte Humus reagirt weder als Säure, noch als Base; er steht in seinem chemischen Verhalten der Holzfaser, aus der er sich gebildet hat, am nächsten und stimmt mit dieser um so mehr überein, je weniger die Verwesung vorgeschritten ist. Er enthält den Sauerstoff und Wasserstoff stets im Verhältniß zur Wasserbildung. Im Verlaufe seiner Zersetzung, welche bei Gegenwart von Feuchtigkeit, Sauerstoff und bei einer gewissen Wärme erfolgt, nimmt der Kohlenstoffgehalt, gegenüber dem Sauerstoff und Wasserstoff, relativ zu. Daher rührt denn auch die schwarze Färbung mancher humusreichen Walderden.

Von dem eigentlichen Humus lassen sich wieder folgende Modificationen unterscheiden:

1. der fruchtbare Waldhumus, vorzugsweise gebildet aus Blättern, Nadeln, Moos rc.

2. der Haidehumus, auch Wachshumus genannt. Einige Gewächse, zu denen vorzüglich die Haiden (Calluna vulgaris und Erica Tetralix) und die Alpenrosen (Rhododendron ferrugineum und hirsutum) zu zählen sind, enthalten Wachs oder wachsartige Stoffe, welche bei der Verwesung der Holzfaser sich nur wenig verändern. Sprengel will im Haidehumus 10—12 $\frac{0}{0}$ Wachs gefunden haben. Dieser Humus sagt nur wenigen (am meisten noch einigen Neuholländischen) Pflanzen zu.

3. der Heidelbeerhumus, gebildet aus Vaccinium Myrtillus und Vaccinium vitis idaea, kommt in seinen Eigenschaften dem Haidehumus sehr nahe.

4. Die Stauberde. Sie entsteht aus mehreren Flechten, von denen wir Cenomyce (Ach.) rangiferina (Cladonia rangiferina Hoffm.) Fig. 64.,

Fig. 64.



C. pyxidata, uncinata, subulata, sowie Peltidea (Ach.) apthosa, canina, horizontalis, polydactyla nennen, und zeichnet sich, wie schon die Benennung sagt, durch staubartige Beschaffenheit aus. Die Stauberde ist gewöhnlich trocken und daher dem Gedeihen der Holzarten nicht förderlich.

β. Humus, gebildet bei unvollkommenen Luftzutritt.

1) Humussubstanzen dieser Art.

Wenn organische Körper bei unvollständigem Zutritt der Luft verwesen, so bilden sich, wie wir früher gesehen haben, Ulmin und Humin, Ulminsäure und Huminsäure, Geinsäure, Quellsäure und Quellsatzsäure und viele andere, noch nicht näher bekannte und untersuchte Säuren, zu denen unter andern die Torfsäure gehört. Gerbesäure hält sich an den Orten, welche der Bildung der Humussäuren günstig sind, lange in unzersetztem Zustand, während sie an freier Luft und bei Gegenwart einer angemessenen Wärme zuerst durch Sauerstoffaufnahme in Gallussäure übergeht und dann, wie die Holzfaser, Kohlensäure und Wasser entwickelt.

2) Die fruchtbare Erde enthält keine Humussäuren.

Viele Agronomen sind der Ansicht, der Humus der fruchtbaren Acker- und Walderde bestehe vorzugsweise aus den eben angeführten Humussäuren; dabei machen sie die Unterstellung, die abgestorbenen Organismen durchliefen in ihrer Zersetzung die obige Scala vom Ulmin an bis zur Quellsatzsäure.

Durch Liebig ist zuerst der Nachweis geliefert worden, daß die Humussäuren der fruchtbaren Ackererde fast ganz fehlen, daß ihr Vorkommen hauptsächlich auf Torfmoore und Sümpfe beschränkt ist, welche, wie man weiß, weder den Agriculturgewächsen, noch auch den meisten Waldbäumen zusagen, und daß daher die Fruchtbarkeit eines Bodens nicht von der Gegenwart der Humussäuren abhängt. Liebig zog eine gute Ackererde mit kaltem Wasser aus; er fand, daß noch nicht $\frac{1}{100000}$ an organischer Materie gelöst wurde.

Folgende Worte Liebigs mögen die Richtigkeit seiner Ansicht bestätigen. „Die Tropfsteinhöhlen in Franken, in der Umgebung von Baireuth, Streitberg sind mit fruchtbarer Ackererde bedeckt; der Boden über diesen Höhlen ist mit verwesenden Vegetabilien, mit Humus angefüllt, der bei Gegen-

wart von Feuchtigkeit und Luft unausgesetzt Kohlensäure entwickelt, die sich im Regenwasser löst.

Das mit Kohlensäure angeschwängerte Regenwasser sickert durch den porösen Kalkstein hindurch, der die Seitenwände und Decken der Höhlen bildet und löst bei diesem Durchgang eine der Kohlensäure entsprechende Menge von kohlensaurem Kalk auf.

In dem Innern der Höhle angekommen, dunstet von dieser Auflösung das Wasser und die überschüssige Kohlensäure ab, und der Kalkstein, indem er sich abscheidet, überzieht Wände und Decken mit Krystallkrusten von den mannigfachsten Formen.

An wenigen Orten der Erde vereinigen sich aber in gleichem Grade, wie an diesem, alle Bedingungen zur Erzeugung von humussaurem Kalk, wenn der Humus in dem Boden in der That in der Form von Humussäure vorhanden wäre.

Verwesende Vegetabilien, Wasser und Kalk in Auflösung sind vorhanden, allein die gebildeten Stalactiten enthalten keine Humussäure, sie sind glänzend weiß oder gelblich, zum Theil durchsichtig, wie Kalkspath und lassen sich zum Glühen ohne Schwärzung erhitzen.

In den alten Burgen in der Nähe des Rheins, der Bergstraße und der Wetterau bieten unterirdische Gewölbe aus Sandstein, Granit und Basalt aufgeführt, eine ähnliche Erscheinung, wie die Kalkhöhlen dar.

Diese Gewölbe oder Keller sind bedeckt mit einer mehrere Fuß dicken Lage von Dammerde, in der sich verwesende Vegetabilien befinden. Das Regenwasser, welches auf diese Gewölbe fällt, nimmt die gebildete Kohlensäure auf, sickert durch die Erde hindurch, löst durch seinen Kohlensäuregehalt den Kalkmörtel auf; diese Auflösung verdunstet auf der Innenseite der Gewölbe nieder und überzieht sie mit kleinen und dünnen humussäurefreien Stalactiten.

Es sind dies aber durch die Natur gebaute Filtrirapparate, in denen wir das Resultat eines, Jahrhunderte oder Jahrtausende fortgesetzten, Versuches vor Augen haben.

Wenn das Wasser die Fähigkeit besäße, auch nur ein Hunderttausendtheil seines Gewichtes an Humussäure oder humussaurem Kalk aufzulösen, so würden wir beim Vorhandensein von Humussäure die Decken dieser Gewölbe und Höhlen damit überzogen finden, allein man ist nicht im Stande, auch nur die kleinste Spur davon wahrzunehmen. Wenn man zuletzt erwägt, daß die Humussäure oder ihre Salze sich mit brauner Farbe im Wasser lösen, daß das Quell- und Brunnenwasser völlig klar und farblos ist und beim Verdampfen nur Salze, die durch Mineralsäuren gebildet sind, aber keine Humussäure hinterläßt, so kann man an der Abwesenheit der letzten in der Acker- und Gartenerde nicht zweifeln. Das Wasser unserer Quellen und Brunnen ist Regenwasser, welches durch den Boden sickernd seine

ganze auflösende Kraft für die humussauren Salze äußern müßte. Wäre humussaures Kali in dem Boden vorhanden, so müßte alles Quell- und Brunnenwasser, in einer gewissen Tiefe gesammelt, bestimmbare Mengen davon enthalten, allein selbst in dem, kohlensaure Alkalien enthaltenden, Selterser und Fachinger Mineralwasser, die aus dem Boden einer sumpfigen Wiese hervorquellen, der reich an vegetabilischen Stoffen ist, läßt sich keine Spur Humussäure nachweisen."

Wenn trotzdem Sprengel, Mulder, Hermann und andere Chemiker in fast allen Ackererden Humussäure gefunden haben, so beruht dies lediglich in der von diesen Analytikern angewandten Methode zur Darstellung der Humussäure. Sie laugten nämlich die zu untersuchenden Erden mit kohlensauren Alkalien bei gewöhnlicher Temperatur, oder in der Siedhitze aus und schlugen das gebildete humussaure Alkali mit einer Säure nieder, z. B.

Humussäure ⌋ + Alkali
Schwefelsäure.

Allein unter den nämlichen Umständen erhält man aus grünem, unverwestem Holze durch Behandlung mit kohlensauren Alkalien einen der Humussäure ganz ähnlichen Körper, weil die inkrustirende Materie auf der Innenfläche der Holzzellen in Alkalien sich löst. Man kann daher nicht daran zweifeln, daß die Humussäuren, welche die genannten Chemiker aus fruchtbaren, dem Zutritt der Luft zugänglichen Ackererden dargestellt haben, nicht als solche im Boden enthalten waren, sondern erst durch Einwirkung der angewendeten Alkalien auf die im Boden vorfindlichen Reste von Organismen gebildet wurden. Das Vorkommen der eigentlichen Humussäuren möchte also auf Sümpfe und Torfmoore oder überhaupt solche Orte beschränkt bleiben, in welchen der Sauerstoff der Luft nicht gehörig zu dem verwesenden Körper gelangen kann.

Anhang. Nitrolin.

Hermann will aus faulem Holze einen stickstoffhaltigen Körper abgeschieden haben, welchen er als Nitrolin (aus nitrogenium und lignum zusammengesetzt) bezeichnet. Nach Hermann enthält das Nitrolin

Kohlenstoff	57,20
Wasserstoff	6,32
Sauerstoff	24,28
Stickstoff	12,20
	100,00

welcher procentischen Zusammensetzung die Formel

$$C_{56}\ H_{40}\ O_{18}\ N_5$$

entspricht.

Hermann ist der Ansicht, der Stickstoff des Nitrolins werde aus der Luft genommen.

Es ist höchst unwahrscheinlich, daß das Nitrolin als solches in faulem

Holze enthalten sei; da Hermann dasselbe durch Behandlung des Holzes mit kochendem kohlensaurem Kali erhielt, so muß man vermuthen, daß das Nitrolin erst durch die Einwirkung des Kali's auf die Holzfaser gebildet worden sei. Dafür, daß der Stickstoff des Nitrolins aus der Luft stamme, hat Hermann keinen Beweis geliefert; dieser Stickstoff stammt entweder von Ammoniak, welches alle Humussubstanzen aus ihrer Umgebung absorbiren, oder von den proteïnartigen Stoffen im Holz und in dem Safte desselben.

Das Nitrolin ist nach Hermann weder in Säuren, noch in Wasser löslich und besitzt noch deutlich die Structur des Holzes.

3. Eigenschaften der Humussäuren.

Ueber die Zusammensetzung der Humussäuren weichen die Angaben der Chemiker außerordentlich ab. Es fanden

	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff
Sprengel in der Humussäure aus Torf dargestellt	58,00	2,10	39,90
Peligot in der Humussäure, erhalten durch Zusammenschmelzen von Sägespähnen mit Ätzkali	72,70	6,10	21,20
Malaguti, Humussäure aus Zucker dargestellt	57,60	4,70	37,70
Mulder, Humussäure aus Torf	68,96	3,45	27,59

Sämmtliche Humussäuren (Ulmin- und Huminsäure, Geinsäure, Quellsäure und Quellsatzsäure) nehmen Ammoniak begierig auf und halten es sehr fest.

Die Eigenschaften der Humussäure sind am genauesten von Sprengel untersucht worden. Er stellte die Humussäure dar, indem er getrockneten und zerriebenen Torf mit Ammoniak digerirte und dann aus dem entstandenen humussauren Ammoniak die Humussäure durch Salzsäure abschied. Letztere fiel in schwarzen Flocken nieder. Durch wiederholtes Waschen mit Wasser reinigte er sie von der anhängenden Salzsäure.

Die Sprengel'sche Humussäure bildet eine schlüpfrige, schwarzbraune Masse, die 95 $\%$ Wasser enthält. Beim Austrocknen schwindet sie stark und zeigt dann muscheligen Bruch. 1 Theil dieser Säure löſt sich in 150 Theilen siedenden, in 2500 Theilen Wassers von 18° Cels. und in 6500 Theilen Wassers von 0°. Durch Austrocknen und Gefrieren verliert sie ihre Löslichkeit in Wasser. Aus diesem wird sie auch von allen Mineralsäuren, der Phosphorsäure ausgenommen, abgeschieden. An der Luft verwest sie, indem sie Sauerstoff aufnimmt, wobei sie, wie die Holzfaser, Kohlensäure und Wasser liefert. Die Humussäure röthet Lakmuspapier und schmeckt schwach säuerlich. Das specifische Gewicht der getrockneten Humussäure ist = 1,444. Sie ist unfähig, zu krystallisiren.

Die Humussäure geht mit den meisten Basen Verbindungen ein. Die humussauren Salze werden aber wieder durch Gefrieren des zu ihrer Auflösung dienenden Wassers zerlegt, wobei die Säure als ein unauflösliches Pulver zu Boden fällt.

Alkalische Salze.

Die Salze, welche aus der Verbindung der Humussäure mit den Alkalien entstehen, sind viel löslicher, als die Humussäure selbst; 1 Theil Salz bedarf 5—10 Theile Wasser zur Auflösung. Es enthalten

	Humussäure	Alkali
Humussaures Kali	93,4	7,6
" Natron	92,8	7,2
" Ammoniak	89,3	10,7

Salze der Humussäure mit alkalischen Erden.

Von diesen haben nur der humussaure Kalk und die humussaure Magnesia Interesse für uns. Ersterer enthält 92,6 % Humussäure und lös't sich in 2000 Theilen kalten Wassers; die humussaure Magnesia hat 93,5 % Basis; sie bedarf zu ihrer Lösung nur 160 Theile kalten Wassers.

Humussaure Thonerde.

Sie besitzt einen Humussäuregehalt von 91,2 % und ist in 4200 Theilen Wasser löslich. Die Verbindung der Humussäure mit der Thonerde ist eine sehr innige.

Humussaures Eisenoxyd

enthält 85 % Humussäure und lös't sich in 2300 Theilen Wasser. Humussaures Eisenoxydul ist bei weitem löslicher.

Humussaures Manganoxydul

enthält 86,8 % Säure und lös't sich in 1450 Theilen Wasser.

4. Eintheilung der Humusarten, welche bei unvollständigem Zutritt der Luft zu verwesenden Organismen sich gebildet haben.

Von den bisher gemachten Eintheilungen kann folgende bestehen bleiben:

Saurer Humus, d. i. solcher, welcher freie, in Wasser gelöste Humussäure enthält. Er findet sich auf sehr nassem Boden, in Sümpfen, auf Torflagern, u. s. w. Man erkennt ihn an der braunen Färbung des Wassers.

Unauflösliche Humussäure. Mit dieser Benennung bezeichnet man solche Humussäure, welche ihre Auflöslichkeit in Wasser durch Gefrieren oder Austrocknen verloren hat.

Adstringirender Humus. Er besteht vorzugsweise aus Gerbesäure, welche durch Wasser von der Luft abgeschlossen ist und deshalb nicht verwesen kann. Abgefallenes Erlen- und Eichenlaub gibt unter den geeigneten Verhältnissen zur Bildung dieser Humusart Veranlassung. Uebrigens irren Diejenigen, welche glauben, der Humus in den Eichen-

waldungen sei stets ein adstringirender; überall da, wo der Boden nicht mit stagnirendem Wasser bedeckt ist, verwest die Gerbesäure in sehr kurzer Zeit.

Die von mehreren Agronomen gewählten weitern Eintheilungen in milden, oxydirten und todtkohligen Humus übergehen wir, weil sich mit diesen Ausdrücken keine Begriffe verbinden lassen, welche dem gegenwärtigen Stande der Wissenschaft angemessen wären.

Fünfter Abschnitt.

Klassifikation des Bodens nach seinen physikalischen Eigenschaften.

1. Gewicht der Erdarten.

Vorbemerkung.

Die Bestimmung des Gewichts einer Erde kann man entweder

a. blos auf die feste Masse derselben, oder

b. auf die in einem gewissen Volumen enthaltene Erdmenge beziehen.

Hiernach unterscheidet man das specifische Gericht (a.) und die Gewichte gleicher Volumina (b.). Letztere sind um deßwillen für die Agronomie von besonderer Bedeutung, weil man, wenn verschiedene Erden hinsichtlich ihres Gewichts verglichen werden sollen, immer gleiche Raummengen derselben im Auge hat, ohne dabei von den leeren Räumen zwischen den Erdpartikelchen zu abstrahiren.

A. Spezifisches Gewicht.

Das einfachste Verfahren zur Bestimmung desselben ist folgendes:

Man füllt ein Fläschchen (Figur 65), welches mit einem eingeriebenen und der Länge nach entweder in der Mitte fein durchbohrten oder seitwärts mit einer Rinne versehenen Glasstöpsel a verschlossen werden kann, mit Wasser und wägt es. Dann gießt man das Wasser aus und bringt die zu untersuchende, gewogene Erde auf den Boden des Fläschchens, füllt dasselbe wieder mit Wasser und setzt den Stöpsel vorsichtig auf, so daß ein Ueberschuß von Wasser durch den feinen Kanal des Stöpsels entweichen kann. Man nimmt das ausfließende Wasser mittelst Löschpapier hinweg und reibt die Außenseite des Fläschchens sorgfältig ab. Es sei

Fig. 65.



das Gewicht des blos mit Wasser gefüllten Fläschchens = a

" " " Fläschchens mit Wasser und Erde = b

das Gewicht der trockenen Erde = c,

so ist a — (b—c) das Gewicht des verdrängten Wassers, dessen Volumen gleich demjenigen der Erde ist, und

$$\frac{c}{a-(b-c)}$$ drückt das spezifische Gewicht der Erde aus.

Es sei z. B. a = 100, b = 93, c = 5 Gramme, so ist

$$\frac{c}{a-(b-c)} = 2,4 = \text{dem spezifischen Gewicht der zu untersuchenden Erde.}$$

B. **Gewichte gleicher Volumina der Erden.**

Um diese zu erfahren, bringt man die Erde in geometrisch einfache Formen, z. B. Cubikzolle, Fuße ꝛc. und wägt dieselben. Man muß aber dafür Sorge tragen, daß die Erde nicht zu sehr zusammengepreßt wird. Es ist von Interesse, die Erde in trockenem und nassem Zustand zu untersuchen. Um sie in letzten zu versetzen, befeuchtet man sie auf einem Filter mit Wasser; als völlig durchnäßt kann die Erde dann angesehen werden, wenn sie das aufgenommene Wasser nicht mehr tropfenweise abfließen läßt.

C. **Resultate einiger Untersuchungen über das Gewicht verschiedener Erdarten**

verdanken wir Schübler. Er operirte mit folgenden Substanzen:

a. Quarzsand,
b. Kalksand,
c. feiner pulverförmiger Kalkerde, aus gebranntem Kalk erhalten, welcher durch langes Liegen an der Luft wieder in vollkommen kohlensauren Zustand übergegangen war.
d. Lettenartigem Thon, aus 45 % Sand und 55 % Thon bestehend.
e. Lehmartigem Thon, mit etwa 24 % Sand und 76 % Thon.
f. Gypserde, durch feines Pulverisiren von natürlichem weißem Gyps erhalten.
g. Klayartigem Thon, 10 % Sand und 90 % Thon enthaltend.
h. Reinem Thon, ohne Sand, aus 58 % Kieselerde, 36,2 % Thonerde und 5,8 % Eisenoxydul bestehend.
i. Schieferigem Mergel, aus der Würtembergischen Keuperformation, mit 84,8 % eisenhaltigem Thon, 6,5 % kohlensaurem Kalk, 7,2 % kohlensaurer Magnesia und 1,3 % weniger eng gebundenen Eisenoxyd bestehend.
k. Humussäure, aus Mistjauche dargestellt.
l. Kohlensaurer Magnesia, durch Präcipitation mittelst Alkalien aus ihren Auflösungen in Säuren erhalten. Die so von Schübler dargestellte kohlensaure Magnesia hat indessen keineswegs diejenige Zusammensetzung, wie die im Boden vorkommende. Jene ist nämlich eine Verbindung von kohlensaurer Magnesia mit Magnesiahydrat, entsprechend der Formel: $MgO, CO_2 HO + MgO, HO$. Es sind deshalb die Resultate

der Schübler'schen Untersuchungen bezüglich der Eigenschaften der Bittererde weggelassen worden.

m. Leichte, fruchtbare, schwarze Gartenerde, bestehend aus 52,4% Thon, 36,5 % Quarzsand; 1,8 Kalksand; 2,0 % Kalkerde und 7,2 % Humus und organischen Ueberresten.

n. Gewöhnliche fruchtbare Ackererde, bestehend aus 51.1 % Thon, 42.7 % Quarzsand, 0,4 % Kalksand, 2,3 % Kalkerde und 3,4 % Humus und organischen Ueberresten.

Es ist zu bedauern, daß Schübler zu seinen Untersuchungen über den Humus nur die (unlösliche) Humussäure und nicht auch den eigentlichen Waldhumus (welchen er als „organische Ueberreste" bezeichnet) verwendet hat.

Erdarten.	Specifisches Gewicht. Wasser = 1	Gewicht eines Kubikdecimeters Erde. Kilogramme. Bei 60° C. getrocknet.	Angenäßt.
Kalksand	2,722	2,085	2,605
Quarzsand	2,653	2,044	2,494
Gyps, gepulvert	2,331	1,676	2,350
Thon mit 45% Sand	2,601	1,799	2,386
Thon mit 24% Sand	2,581	1,621	2,194
Thon mit 10 % Sand	2,560	1,423	2,156
Reiner Thon	2,533	1,376	2,126
Feiner kohlens. Kalk	2,468	1,006	1,758
Humussäure	1,370	0,632	1,428
Gartenerde	2,332	1,449	1,744
Ackererde	2,401	1,537	2,810
Schiefr. Mergel	2,613	2,048	2,600

D. **Diskussion dieser Resultate.**

Aus den angeführten Untersuchungen Schüblers ergibt sich:

a. Der Sand ist sowohl trocken, als naß die schwerste von allen Bodenarten und von den Bestandtheilen zusammengesetzter Böden.

b. Die Thonarten sind um so leichter, je weniger Sand sie enthalten.

c. Die Humussäure hat das geringste specifische und absolute Gewicht.

d. Die beim Landmann gebräuchliche Benennung eines schweren oder leichten Bodens kann sich weder auf das specifische, noch auf das absolute Gewicht der Erdarten beziehen, da die obigen Resultate mit diesen Bezeichnungen geradezu in Widerspruch stehen. Wie wir später sehen werden, beruhen diese Benennungen auf der größern oder geringern Consistenz der Erden.

2. Festigkeit und Adhäsion des Bodens.

A. Festigkeit.

a. Begriff.

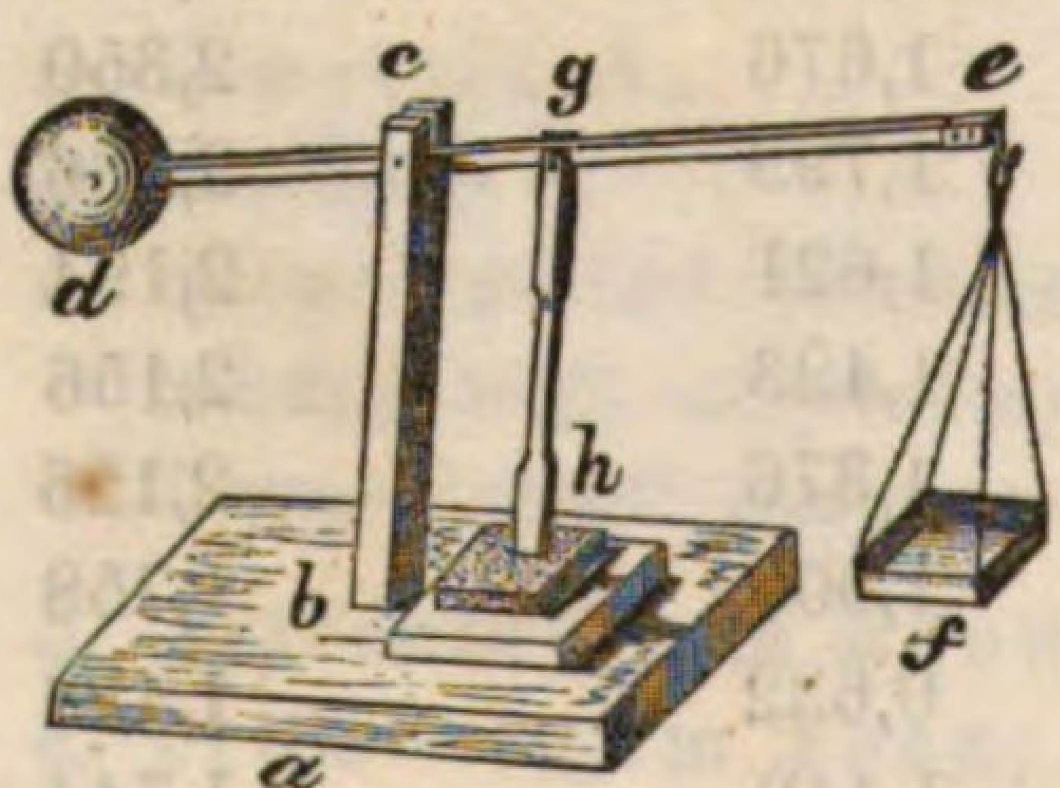
Unter der Festigkeit oder Consistenz eines Bodens versteht man den Zusammenhang seiner einzelnen Theile. Sie äußert sich durch den Widerstand, den der Boden solchen Instrumenten entgegensetzt, mittelst deren man ihn zu trennen sucht, wie z. B. dem Pflug, der Hacke, den Spaten, Pflanzenbohrern u. s. w. Die verschiedenen Grade der Festigkeit bezeichnet man mit den Ausdrücken: streng, zähe, gebunden, locker, mürbe, lose ꝛc.

b. Methode zur Untersuchung der Festigkeit.

Zur Untersuchung der Festigkeit eines Bodens kann man sich folgenden Apparates bedienen.

Aus einer Unterlage a (Fig. 66) erhebt sich ein Träger bc, auf welchem ein Hebel de ruht, an dessen einem Ende eine Bleikugel d befestigt ist, während an der andern Ecke eine Wagschale f hängt Dieser Hebel dient als Wagbalken und nimm so lange eine freie Lage ein, als die Schale f nicht mit Gewichten belastet wird. Bei g ist ein unten spatelförmiges Eisen g h mittelst eines Stiftes in den Hebelsarm d e so befestigt, daß es sich frei bewegen kann und immer lothrecht hängt, wenn auch der Hebelsarm selbst seine Lage verändert. Dieses spatelförmige Eisen gh ist zum Durchschneiden der auf einer Platte liegenden Erde bestimmt.

Fig. 66.



Man gibt letzterer die Form eines Parallelpipedons mittelst einer Vorrichtung, ähnlich derjenigen, welche zum Anfertigen der Lehmsteine gebraucht wird.

Um das Maß der Festigkeit einer Erde zu bestimmen, legt man in die Schale f so lange Gewichte, bis die Erde von dem Spatel gh durchschnitten worden ist.

B. Adhäsion des Bodens.

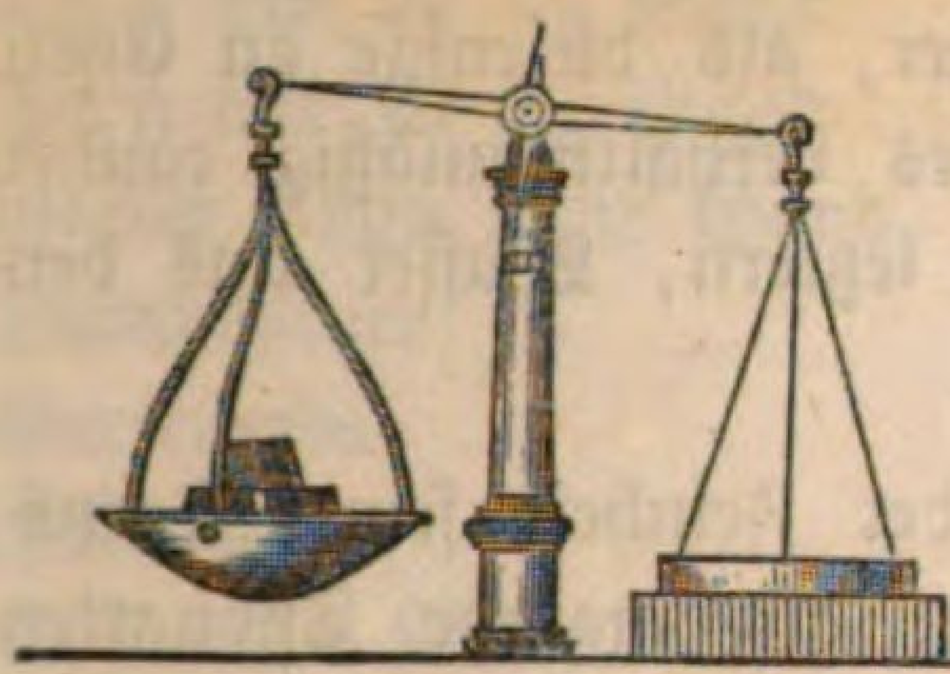
a. Begriff.

Man versteht unter Adhäsion des Bodens die Eigenschaft desselben, an andern Körpern, mit welchen er in Berührung gekommen ist, anzuhängen. Sie ist wichtig für die Beackerung. Erdarten, welche stark an den Pflug, die Hacke, den Spaten sich anhängen, sind der vermehrten Reibung halber verhältnißmäßig schwer zu bearbeiten.

b. Untersuchung des Maßes der Adhäsion.

Hierzu dient eine Wage (Fig. 67.), deren eine Schale a aus einer Scheibe von Holz oder Eisen (den zu den Ackerwerkzeugen vorzugsweise verwendeten Materalien) besteht. Man setzt die Schale a auf die zu untersuchende, durchnäßte Erde und legt auf die Schale b so lange Gewichte, bis a von der Erde getrennt wird.

Fig. 67.



b. a.

c. Resultate über die Festigkeit und Adhäsion der Erdarten.

Erdarten	Festigkeit im trockenen Zustand, die des Thons = 100 gesetzt.	Adhäsion an eine Fläche von 1 Quadratdecimeter. Eisen	Holz.
		Kilogramme.	
Quarzsand	0,0	0,17	0,19
Kalksand	0,0	0,19	0,20
Feine kohlens. Kalkerde	5,0	0,65	0,71
Gyps, gepulvert	7,3	0,49	0,53
Humussäure	8,7	0,40	0,42
Thon mit 45 % Sand	57,3	0,35	0,40
Thon mit 24 % Sand	68,8	0,48	0,52
Thon mit 10 % Sand	83,3	0,78	0,86
Reiner Thon ohne Sand	100,0	1,22	1,32
Gartenerde	7,3	0,29	0,34
Ackererde	33,0	0,26	0,28
Schiefriger Mergel	23,0	0,22	0,25

d. Diskussion der Resultate.

Aus der vorstehenden Tabelle ergibt sich Folgendes:

α. Thonerde besitzt die größte, Sand die geringste Festigkeit, letzterer wird sich deßhalb auch leichter bearbeiten lassen. Die Festigkeit der Humussäure ist gering; wenn Schübler einen Versuch mit dem gewöhnlichen indifferenten Waldhumus angestellt hätte, so würde er dessen Festigkeit gewiß größer gefunden haben, denn die zu dem obigen Versuch benutzte Humussäure war durch Fällen aus einer Auflösung dargestellt worden, daher sehr fein zertheilt, während der aus verwestem

Laub, Moos ꝛc. gebildete Humus zum Theil noch die Holzfäserstruktur besitzt, also jedenfalls mehr Zusammenhang hat. In der That nimmt auch der Forstmann allgemein an, daß der Humus die Extreme der Bodenfestigkeit vermittle, also einem lockeren Boden mehr Festigkeit und einem festen Boden mehr Lockerheit verleihe.

β. Die Adhäsion des Bodens an Holz ist größer, als diejenige an Eisen, was sowohl von der größern Oberfläche des verhältnißmäßig rauhen Holzes, als auch von der Eigenschaft des letztern, Wasser aus dem Boden schnell in sich aufzunehmen, herrührt.

γ. Die Adhäsion des Thons richtet sich nach der Feinheit seines Korns; feine Kalkerde zeigt eine größere Adhäsion, als manche Thonarten. Daraus erklärt sich die schmierige Beschaffenheit des eigentlichen Kalkbodens.

δ. Der trockene Sand ist gänzlich ohne Adhäsion an die Ackerwerkzeuge, wie man sich leicht durch einen Versuch überzeugen kann; wird der Sand aber angenäßt, so nimmt er die Eigenschaft der Adhäsion, wenn auch in geringem Maße an.

ε. Da die beim Landmann üblichen Benennungen eines schweren und leichten Bodens weder auf das spezifische, noch auf das absolute Gewicht der Erdarten sich beziehen können, dagegen mit der größeren oder geringern Festigkeit und Adhäsion im Einklange stehen, so muß man annehmen, daß der herrschende Sprachgebrauch die Beiworte „schwer" und „leicht" bei den Bodenarten im Sinne ihrer Bearbeitungsfähigkeit nimmt.

Es ist kaum nöthig, zu bemerken, daß die Festigkeit des Bodens sich vermindert, wenn er im feuchten Zustand vom Frost getroffen wird. Das in den Zwischenräumen der Erde befindliche Wasser nimmt bei seinem Uebergang in Eis einen größern Raum ein; es werden dadurch die Partikelchen des Bodens von einander getrennt und zerkleinert. Schübler fand, daß der Winterfrost die Festigkeit des Thons um 50 % verringert. Ist dagegen der Boden bei Eintritt des Frostes trocken, so erleidet seine Festigkeit kaum eine Veränderung. Es scheint übrigens, als ob mit der Abnahme der Festigkeit eine Vermehrung der Adhäsion verbunden sei.

3. Volumsverminderung des Bodens durch Austrocknen.

Im nassen Zustand nehmen die Erdarten einen größern Raum ein, als im ausgetrockneten. Die Volumsverminderung oder das Schwinden erfährt man durch Messung der Dimensionen, welche die regelmäßig geformte Erde erst im nassen und dann im trocknen Zustand besitzt. Schübler erhielt bei seinen Untersuchungen folgende Resultate:

	1000 Raumtheile geben durch Austrocknen	1000 Raumtheile vermindern ihr Volumen um
Quarz- und Kalksand, Gyps	1000	0 Theile.
Feiner kohlensaurer Kalk	950	50 "
Thon mit 45 % Sand	940	60 "
Thon mit 24 % Sand	911	89 "
Thon mit 10 % Sand	866	114 "
Reiner Thon ohne Sand	817	183 "
Humussäure	800	200 "
Gartenerde	851	149 "
Ackererde	880	120 "
Schiefriger Mergel	965	95 "

Wie man sieht, ist die Volumsverminderung am größten bei der Humussäure (20 %) und den Thonarten. Es erklärt sich hieraus zum Theil das Schwellen des Torfes, wenn derselbe von Wasser durchdrungen wird.

4. Feuchtigkeitszustand des Bodens.

A. Bedingungen.

Der Feuchtigkeitszustand des Bodens hängt ab:

a. zunächst von der Menge Wasser, welche dem Boden zur Aufnahme in seine Zwischenräume dargeboten wird. Orte, die im Niveau des Wassers oder unter demselben liegen, erhalten mehr Feuchtigkeit, als solche über dem Wasserspiegel, weil bei letztern das Wasser nach den tiefer gelegenen Punkten abfließen kann. Solche Gegenden, welche reich an meteorischen Niederschlägen sind, wie z. B. die Westküsten von Europa Hochgebirge u. s. w., besitzen ebenfalls öfter einen feuchten Boden.

b. Davon, ob das aufgenommene Wasser dem Boden auch verbleibt. Geneigte Lagen bewirken ein Abziehen der Feuchtigkeit nach der Tiefe hin; Sonne und Wind begünstigen die Verdunstung.

c. Von der Eigenschaft des Bodens, Feuchtigkeit in tropfbar flüssigem und gasförmigem Zustand in sich aufzunehmen und dieselbe zu halten. Diese Eigenschaften verdienen eine nähere Betrachtung.

B. Wasseraufnahmefähigkeit.

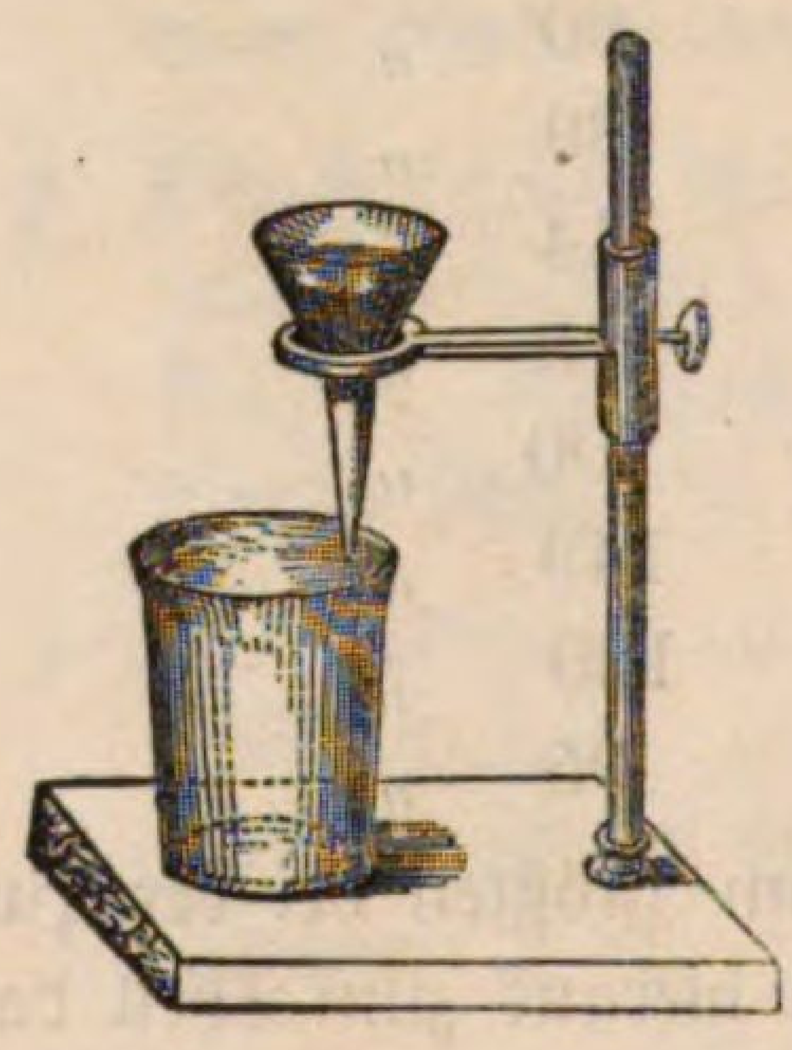
a. Begriff.

Man versteht unter ihr das Vermögen eines Bodens, mehr oder weniger Wasser in seine Zwischenräume aufzunehmen, ohne es tropfenweise wieder abfließen zu lassen.

Die obige Beziehung rührt von Hundeshagen her. Schübler wählte statt derselben den Ausdruck: „Wasserhaltende Kraft des Bodens". Da diese Benennung aber leicht mit „Wasserzurückhaltende Kraft" verwechselt werden kann, so haben wir den von Hundshagen eingeführten Terminus vorgezogen.

b. **Methode zur Untersuchung der Wasseraufnahmefähigkeit.**

Fig. 68.



Man bringt etwa 20 Grm. Erde (nicht zu viel, weil sonst das Wasser durch den Druck der Erde ausgepreßt wird), nachdem sie bei etwa 20—30° längere Zeit hindurch getrocknet worden ist, auf ein in zuvor angenäßtem Zustand gewogenes Filter (Fig. 68.) und gießt dann Wasser auf die Erde. Sobald das Wasser nicht mehr tropfenweise abfließt, wiegt man die Erde sammt dem Filter.

Netzt die Erde sich nur schwierig an (wie z. B. manche Mergel, welche sich mit Wasser zusammenballen), so ist es rathsam, dieselbe, ehe man sie auf das Filter gibt, in einem Gefäße mit Wasser anzurühren und dann dessen Inhalt auf das Filter zu spühlen.

Die durch das aufgenommene Wasser bewirkte Gewichtsvermehrung der Erde zeigt die Wasseraufnahmefähigkeit derselben an.

Die Rechnung wird folgendermaßen geführt:

Gewicht der getrockneten Erde = a

Gewicht des angenäßten Filters = b

Gewicht des angenäßten Filters und der nassen Erde = c,

so ist aufgenommenes Wasser = c — (a + b).

Es sei z. B. a = 20, b = 5, c = 35, so ist c — (a + b) = 35 — (20 + 5) = 35 — 25 = 10; und 100 Gewichtstheile Erde haben 28,6 Theile Wasser aufgenommen.

Die Berechnung der Wasseraufnahme-Fähigkeit nach Gewichtsprozenten der Erden liefert übrigens kein klares Bild von dem in Frage stehenden Verhalten. Wir sind nicht gewohnt, den Boden seinem Gewicht nach anzusehen; wir reden nicht von einem Pfund Sand, von einem Pfund Thon. Wenn wir zwei Bodenarten in Bezug auf ihre Eigenschaften vergleichen, so haben wir immer gleiche Volumina im Auge. Dies geschieht auch immer, wenn von den Erträgen verschiedener Felder die Rede ist; wir vergleichen dieselben flächenweise (nach Morgen, Ackern, Aren u. s. w.), aber nicht nach dem Gewicht der Erde auf dem Felde. Die Fläche aber ist nur ein Ausdruck für das Volumen, vorausgesetzt, daß die Tiefgründigkeit des Wurzelbodenraums sich nicht ändert.

Es ist daher durchaus erforderlich, daß man die Wasseraufnahme-Fähigkeit der Erden auf das Volumen derselben bezieht. Da wir die Gewichte gleicher Volumina der Erden kennen, so gestaltet sich die Reduction der Gewichtsprozente auf Raumprozente sehr einfach, wie folgendes Beispiel zeigt.

Es sei die Wasseraufnahme-Fähigkeit des Quarzsandes nach Gewichtsprozenten = 25 gefunden worden; da ein Kubikdecimeter nassen Quarzsandes 2,494 Kilogramme wiegt, so sind in demselben 0,499 Kilogramm Was-

ser enthalten (125: 25 = 2,494: x = 0,499). Da eine Gramme = 0,001 Kilogramme den Raum von 1 Kubikcentimeter einnimmt, so werden also in 1000 Kubikcentimetern (= 1 Kubikdecimeter) des nassen Sands 499 Kubikcentimeter von Wasser ausgefüllt; die Wasseraufnahme-Fähigkeit dieser Erde beträgt demnach in Volumprozenten 49,9 (nach der Proportion 1000: 499 = 100: x = 49,9).

c. **Resultate einiger Untersuchungen über die Wasseraufnahme-Fähigkeit nach Gewichts- und Volumprozenten.**

Erdarten.	Wasseraufnahmefähigkeit. Gewichts- Prozente.	Volum- Prozente.	1 Kubikdecimeter der angenäßten Erde enthält Kilogramme Wasser	Erde
Quarzsand	25	49,9	0,499	1,995
Kalksand	29	58,2	0,582	2,021
Gyps, gepulvert	27	50,1	0,501	1,855
Thon, mit 45% Sand	40	68,2	0,682	1,654
Thon, mit 24% Sand	50	73,0	0,730	1,464
Thon, mit 10% Sand	61	81,7	0,817	1,339
Reiner Thon ohne „	70	87,5	0,875	1,251
Feiner kohlens. Kalk	85	80,8	0,808	0,950
Humussäure	190	93,5	0,935	0,493
Gartenerde	89	82,1	0,821	0,923
Ackererde	52	74,5	0,745	1,435
Schiefriger Mergel	34	66,0	0,660	1,950

d. **Discussion dieser Resultate.**

α. Von allen Bestandtheilen des Bodens zeigt der Sand die geringste Wasseraufnahme-Fähigkeit. Das günstigere Verhalten des Kalksands, gegenüber dem Quarzsande, scheint indessen mehr auf der größern Feinheit des Korns, als auf der mineralischen Beschaffenheit des Kalkes zu beruhen. Nach angestellten Untersuchungen kann die Wasseraufnahme-Fähigkeit des grobkörnigen Sandes sich bis zu 20% vermindern, während sie bei sehr feinem Sand bis auf 40% steigen kann.

β. Die Gypserde zeigt ein dem Sande ähnliches Verhalten; dies kann nicht auffallen, wenn man bedenkt, daß durch Pulverisiren eines Minerals immer nur eine Art Sand erzeugt wird.

γ. Der Thon nimmt um so mehr Wasser auf, je weniger Sand er enthält.

δ. Die verhältnißmäßig große Wasseraufnahme-Fähigkeit der Kalkerde erklärt sich aus dem feinzertheilten Zustand, in welchem sie sich befindet. Da der Kalksand hierin der Kalkerde, wie sie zu den obigen Versuchen angewendet wurde, nachsteht, so ergibt sich hieraus, daß die Wasseraufnahme-Fähigkeit eines Kalkbodens je nach der Form, in welcher der Kalk sich befindet, sehr verschieden sein kann.

ε. Die größte Wasseraufnahme-Fähigkeit kommt der Humussäure zu. Sie wird übrigens in dieser Eigenschaft noch von dem bei vollkommenem Luftzutritt gebildeten Humus übertroffen, wie Schübler durch besondere Versuche nachgewiesen hat. 100 Theile der feinen, durch faules Holz in alten Bäumen gebildeten Erde sollen sogar gegen 200 und gewisse lockere Torferden 300—360 Theile Wasser aufnehmen.

ζ. Der schiefrige Mergel zeigt eine geringe Wasseraufnahme-Fähigkeit. Er kann daher benutzt werden, um einen Boden wärmer und trockner zu machen.

C. Wasserzurückhaltende Kraft.

a. Begriff.

Man versteht unter der wasserzurückhaltenden Kraft eines Bodens die Eigenschaft desselben, mehr oder weniger schnell auszutrocknen.

b. Methode zur Untersuchung der wasserzurückhaltenden Kraft.

Auf eine mit erhöhtem Rand versehene Scheibe breitet man die durchnäßte Erde aus und bringt sie in ein Zimmer von 15—20° Temperatur, geschützt gegen Luftzug. Der Gewichtsunterschied, den die Erde nach Verlauf von einigen Stunden zeigt, gibt die Menge der verdunsteten Feuchtigkeit an. Nach Beendigung des Versuchs trocknet man die Erde vollständig unter Anwendung künstlicher Wärme aus und erfährt so durch abermaliges Wiegen die Quantität Wasser, welche zu Anfang des Versuchs in der Erde enthalten war. Es sei z. B.

das Gewicht der durchnäßten Erde . . .	= 310
" " derselben Erde nach 24 Stunden	= 260
" " der völlig ausgetrockneten Erde	= 200
so war die Menge des in 24 Stunden verdunsteten Wassers	= 50
und der Wassergehalt der durchnäßten Erde zu Anfang des Versuchs	= 110.

Von 110 Theilen Wassers sind also 50 Theile verdunstet, das macht 45,5 %.

c. Resultate einiger Untersuchungen über die wasserzurückhaltende Kraft.

Die Erden wurden auf einer Fläche von 10 Quadratzoll ausgebreitet, man wandte von jeder gleiche Gewichtsmengen (200 Gran) an. Die Temperatur des Zimmers, in welchem der Versuch vorgenommen wurde, betrug 18°,75 Cels.

Erdarten.	Von 100 Theilen absorbirten Wassers verdunsteten bei 18°, 75 in 4 Stunden	Vom 100 Theilen aufgenommenen Wassers verdunsteten 90 Theile bei 18°,75 in
Quarzsand	88,4	4 Stunden 4 Minuten
Kalksand	75,9	4 " 44 "

Gyps, gepulvert	71,7	5 Stunden	1 Minuten
Thon, mit 45 g Sand	52,0	6 "	55 "
Thon, mit 24 g Sand	45,7	7 "	52 "
Thon, mit 10 g Sand	34,9	10 "	19 "
Reiner Thon ohne Sand	31,9	11 "	17 "
Feiner Kalk	28,0	12 "	51 "
Humussäure	20,5	17 "	33 "
Gartenerde	24,3	14 "	49 "
Ackererde	32,0	11 "	15 "
Schiefriger Mergel	68,0	5 "	53 "

d. **Discussion dieser Resultate.**

α. Am schnellsten trocknen die Sandarten, sowie der schiefrige Mergel und der Gyps aus; man nennt sie darum hitzige Böden.

β. Am längsten halten Humussäure und feine Kalkerde das aufgenommene Wasser zurück, nach ihnen zeigen die Thonerden die größte wasserzurückhaltende Kraft.

γ. Die Eigenschaft der Erdarten, das aufgenommene Wasser langsam zu verdunsten, steht mit der Wasseraufnahmefähigkeit so lange in gleichem Verhältniß, als die Erden dünne Schichten bilden. Bei dickeren Erdlagen verdunstet aber, wie Schübler durch weitere Versuche dargethan hat, um so weniger Wasser, je consistenter die Erde ist. So enthält eine nasse, zolldicke Thonschichte nach Verlauf von einigen Tagen immer noch mehr Wasser, als die Humussäure. Das ist der Grund, warum Thon den sogenannten „kalten" Boden bildet.

D. **Wasserdampfabsorptionsfähigkeit.**

a. **Begriff.**

Die meisten Erdarten besitzen die Eigenschaft, Wasserdampf aus der Atmosphäre aufzunehmen und an ihrer Oberfläche zu verdichten. Nach allgemein chemischen Gesetzen wird die Absorptionsfähigkeit durch die Größe der Bodenoberfläche, mit andern Worten, durch den Grad der Zertheilung, in welchem die Erdkrume sich befindet, bedingt.

Die Condensation des Wasserdampfs beruht in dem vorliegenden Falle lediglich auf der Anziehung der Materie*) und muß wohl unterschieden werden von der Thaubildung. Letztere findet dann statt, wenn Wasserdampf durch

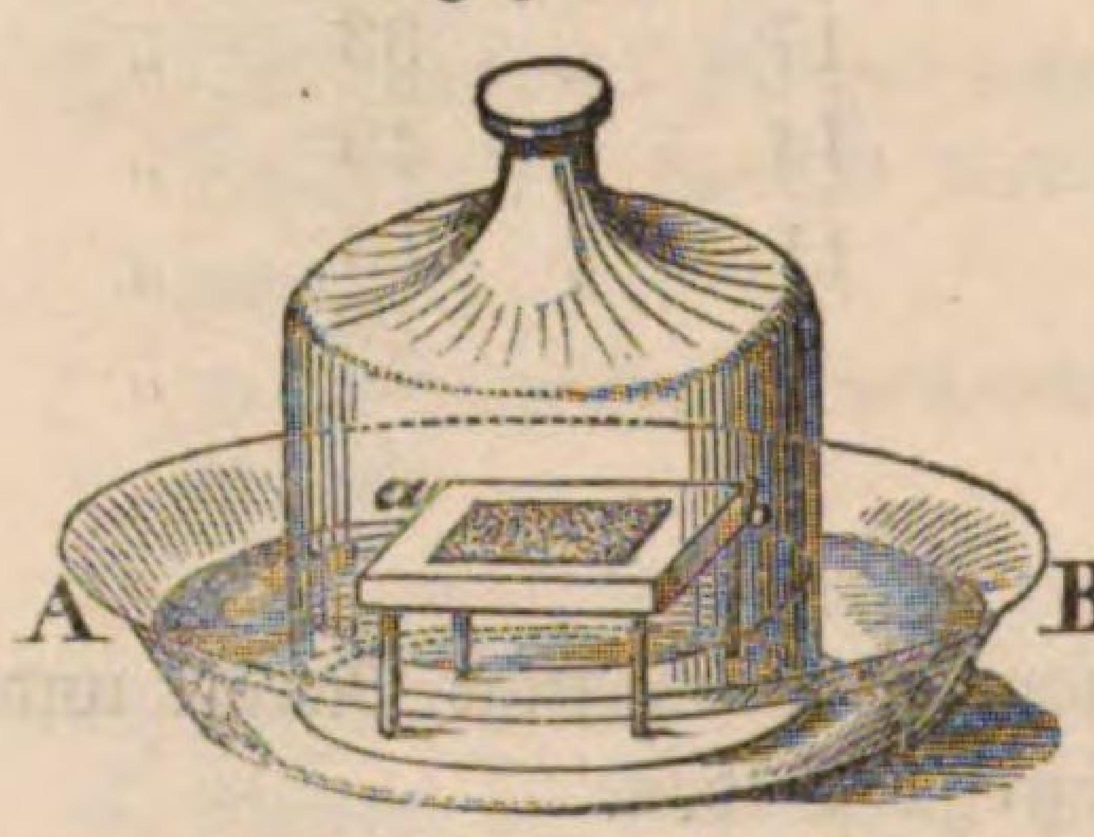
*) Einige Salze, wie z. B. kohlensaure Alkalien, besitzen die Eigenschaft, Wasserdampf anzuziehen und denselben, nachdem er sich verdichtet hat, festzuhalten. Sie kommen aber in den meisten Böden nur sehr spärlich vor, so daß die Größe der Absorptionsfähigkeit durch sie kaum merklich geändert werden kann.

Berührung mit kältern Körpern in seiner Temperatur herabgestimmt und dadurch verdichtet wird.

b. **Methode zur Untersuchung.**

Man breitet die getrocknete Erde auf einer Scheibe a b aus, welche über einem Wasserbehälter A B auf Trägern ruht. Ueber die Scheibe wird eine Glasglocke gestülpt, welche noch in das Wasser hinein reicht. Die Erde wird vor dem Versuche und nach Ablauf einer gewissen Stundenzahl gewogen; die Gewichtszunahme gibt die Menge des absorbirten Wassers an. Der Versuch muß, wenn er praktische Bedeutung haben soll, bei gewöhnlicher Temperatur (15—20°) vorgenommen werden.

Fig. 69.



c. **Resultate einiger Untersuchungen über die Absorptionsfähigkeit der Erden.**

Erdarten.	Fünf Gramme der auf einer Fläche von 360 Quadratcentimeter ausgebreiteten Erde absorbirten in 12 Stunden	24 Stunden	48 Stunden	72 Stunden
	Centigramme.			
Quarzsand	0,0	0,0	0,0	0,0
Kalksand	1,0	1,5	1,5	1,5
Gyps, gepulvert	0,5	0,5	0,5	0,5
Thon, mit 45 $\frac{0}{0}$ Sand	10,5	13,0	14,0	14,0
Thon, mit 24 $\frac{0}{0}$ Sand	12,5	15,0	17,0	17,5
Thon, mit 10 $\frac{0}{0}$ Sand	15,0	18,0	20,0	20,5
Reiner Thon ohne Sand	18,5	21,0	24,0	24,5
Feiner kohlensaurer Kalk	13,0	15,5	17,5	17,5
Humussäure	40,0	48,5	55,0	60,0
Gartenerde	17,5	22,5	25,0	26,0
Ackererde	8,0	11,5	11,5	11,5
Schiefriger Mergel	12,0	14,5	15,5	15,8

d. **Diskussion dieser Resultate.**

α. Die Absorptionsfähigkeit der Erden hängt von dem Grade ihrer Zertheilung ab; sie ist bei dem Quarzsand gleich Null. Feinkörnigere Sandarten (zu welchen der bei den obigen Versuchen angewandte Kalksand gehört) zeigen aber gleichwohl die Eigenschaft, Wasserdämpfe zu verdichten.

β. Die Absorption ist beim Beginn des Versuchs am stärksten; sie nimmt dann fortwährend ab und ist nach einigen Tagen beendigt. Werden die Erden in diesem Zustand dem Sonnenlicht ausgesetzt, so geben sie einen Theil der aufgenommenen Feuchtigkeit wieder ab.

γ. Am größten ist die Absorptionsfähigkeit bei der Humussäure; nach weiteren Versuchen ist sie indessen für den gewöhnlichen erdigen Humus nicht viel geringer. Auch die Thonarten verdichten viel Wasserdampf an ihrer Oberfläche. Ihnen steht in dieser Hinsicht der feine kohlensaure Kalk und der schiefrige Mergel ziemlich nahe, während der gepulverte Gyps mehr mit den Sandarten übereinkommt.

E. Classification des Bodens nach seinem Feuchtigkeitsgehalte.

Man nennt den Boden

a. dürr, wenn er, zerrieben, bei Luftzug staubt. Die geringe Feuchtigkeitsmenge, welche er enthält, verleiht ihm keine dunklere Färbung.

b. trocken, wenn er zwar nicht staubt, aber auch keine dunklere Färbung besitzt.

c. frisch, wenn er beim Zusammendrücken in der Hand Spuren von Feuchtigkeit hinterläßt.

d. feucht, wenn das Wasser beim Zusammendrücken tropfenweise abfließt.

e. naß, wenn sämmtliche Zwischenräume des Bodens mit Wasser angefüllt sind, so daß es von einer herausgenommenen Scholle durch sein eigenes Gewicht abfließt, ohne daß hierzu ein Zusammendrücken der Erde nöthig wäre.

5. Wärme des Bodens.

A. Erwärmungsfähigkeit.

a. Begriff.

Werden verschiedene Bodenarten unter einerlei Verhältnissen einer Wärmequelle, z. B. den Sonnenstrahlen, ausgesetzt, so nehmen dieselben nicht alle die nämliche Temperatur an. Je höher eine Erdart bei gegebener Temperatur sich erwärmt, um so größer ist ihre „Erwärmungsfähigkeit".

b. Einflüsse, durch welche diese Eigenschaft bedingt wird.

Auf die Erwärmungsfähigkeit influirt

α. die specifische Wärme jeder Erdart. Man versteht unter jener diejenige Wärmesumme, welche nöthig ist, um die Temperatur der Einheit des Volums, oder des Gewichts Erde um 1 Grad zu erhöhen. Uebrigens ist der Unterschied in der specifischen Wärme der Bodenarten so gering, daß wir ihn bezüglich der Erwärmungsfähigkeit außer Acht lassen können.

β. Die Farbe des Bodens.

Der Einfluß der Farbe wird untersucht, indem man in die künstlich gefärbten Erden (zu Schwarz eignet sich Kienruß, zu Weiß feine Bittererde), Thermometer eingräbt und an diesen die Temperaturerhöhung, welche die Sonnenstrahlen bewirken, beobachtet.

Nach den Versuchen Schübler's erwärmen sich die schwarzgefärbten

Erden stärker, als die grauen und diese wieder stärker, als die weißen. Die Temperaturunterschiede dieser drei Farben betragen 1—8 Grade. Werden die verschieden gefärbten Erden auch stundenlang dem Sonnenlicht ausgesetzt, so erreichen sie doch nie dieselbe Temperatur; die hellergefärbten Erden bleiben immer kühler, während die schwarzgefärbten sich am meisten erhitzen.

Viele Gesteine besitzen von Natur eine dunkle, ja selbst schwarze Farbe, so z. B. Thonschiefer und Kupferschiefer, welche Kohle enthalten, Basalt, dessen schwarze Farbe von Augit herrührt u. s. w. Bodenarten, welche aus diesen Gesteinen entstanden sind, ohne daß durch den Verwitterungsprozeß die dunkle Farbe sich verloren hat, zeichnen sich durch ihre verhältnißmäßig bedeutende Erwärmungsfähigkeit aus.

γ. Die Feuchtigkeit des Bodens.

Nasse Erden können sich nie so stark erwärmen, als trockne, einestheils, weil das Wasser eine größere specifische Wärme, als die feste Substanz des Bodens besitzt, anderntheils aber auch deshalb, weil ein Theil der aufgenommenen Wärme zum Verdunsten der Feuchtigkeit benutzt wird und deshalb für die Erwärmung des Bodens verloren geht. Die durch die Verdunstung des Wassers entstehende Temperaturerniedrigung der nassen Erde gegenüber der trockenen beträgt 5—7 Grade. Hieraus geht ferner hervor, daß die wasserzurückhaltende Kraft einer Erde die Erwärmungsfähigkeit beeinträchtigt.

Um den Einfluß der Farbe und Feuchtigkeit auf die Temperaturerhöhung der Erden zu ermitteln, brachte Schübler dieselben in Gefäße von 4 Quadratzoll Oberfläche und ½ Zoll Tiefe und setzte sie, theils künstlich gefärbt, theils mit Belassung ihrer natürlichen Farbe, in nassem und trockenem Zustand dem Sonnenlicht aus. Die Versuche wurden in der zweiten Hälfte des Monats August zwischen 11 und 3 Uhr angestellt, während die Temperatur der Luft im Schatten zwischen 22° bis 25° wechselte.

Erdarten:	Temperaturmaxima der obersten Erdschichte bei natürlich gefärbter Oberfläche, nasse Erde	trockne Erde.	bei trockener Erde, bei weißer	schwarzer Oberfläche.
Quarzsand, hellgelblichgrau	37,2	44,7	43,2	50,9
Kalksand, weißlichgrau	37,4	44,5	43,2	51,1
Gyps, weißgrau	36,2	43,6	43,5	51,2
Thon, mit 45% Sand, gelblich	36,7	44,1	42,4	49,7
Thon, mit 24% Sand, gelblich	37,2	44,5	42,1	49,5
Reiner Thon, ohne Sand, gelblichgrau	37,4	44,6	41,9	49,1
Bläulichgrauer Thon (mit 10% Sand)	37,4	44,6	41,2	48,9

Kalk, weiß	35,6	43,6	43,1	50,7
Humussäure, bräunlichschwarz	39,7	47,4	42,5	49,4
Gartenerde, schwärzlichgrau	37,5	45,2	42,4	50,2
Ackererde, grau	36,9	44,2	42,0	50,0
Schiefriger Mergel, bräunlichroth	38,7	46,2	42,4	50,7

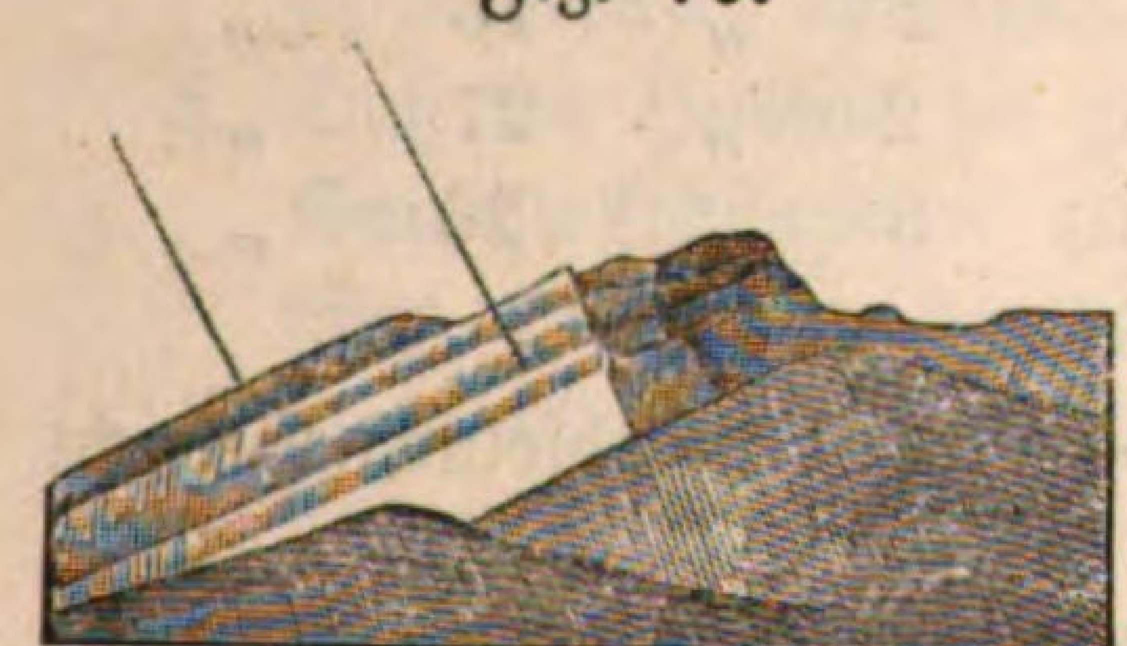
δ. Die Lage.

Den Einfluß der geographischen Länge und Breite, so wie der Meereshöhe auf die Erwärmung des Bodens werden wir später abhandeln und hier nur die Exposition und Abdachung berücksichtigen.

Die Intensität der Erwärmung einer Fläche durch die Sonnenstrahlen ist dem Sinus des Winkels proportional, unter welchem diese Strahlen die Fläche treffen.

Blos innerhalb der Wendekreise fallen die Sonnenstrahlen auf die Horizontalebene senkrecht auf; in allen übrigen Breiten nehmen sie eine schiefe Stellung gegen die horizontale Fläche der Erde ein. Auf den Seitenflächen der Hügel und Berge dagegen fallen die Sonnenstrahlen weniger schief auf; ja sie können, je nach der Jahres- und Tageszeit und nach dem Abdachungsgrade, eine senkrechte Richtung einnehmen. In der Mitte des Sommers steht die Sonne gegen 12 Uhr ungefähr 60° über dem Horizont; hat nun eine Bergwand eine Abdachung von 30 Graden, so wird sie durch die Sonnenstrahlen in einem rechten Winkel getroffen. (Fig. 70.) Dieses Verhältniß findet bei steileren Einhängen auch schon im Vorsommer und noch im Nachsommer statt. Südseiten (reine Süd-, Südost- und Südwestseiten) erhitzen sich begreiflicher Weise stärker, als Nordseiten, (reine Nord-, Nordost- und Nordwestseiten). Beträgt die Abdachung eines nördlichen Einhangs 60°, so wird die Erde, wenn die Sonne 60° über dem Horizont steht, eben nur von den Sonnenstrahlen rasirt, bei tieferem Stand der Sonne aber gar nicht mehr von deren Strahlen getroffen. Im Winter, wenn die Sonne oft nur 20° über den Horizont sich erhebt, erhalten rein nördliche Einhänge von 20° Neigung schon kein directes Licht mehr.

Fig. 70.



B. Wärmehaltende Kraft der Erden.

a. Begriff.

Man versteht unter der wärmehaltenden Kraft des Bodens die Fähigkeit desselben, nach erfolgter Erwärmung die angenommene Temperatur längere Zeit zu bewahren.

b. Methode zur Untersuchung der wärmehaltenden Kraft.

Diese besteht ganz einfach darin, daß man gleiche Volumina (z. B. Prismen) der Erden anfertigt, sie erwärmt und durch ein in die zu prüfende

Erde tauchendes Thermometer die Temperaturabnahme neben der Zeit, innerhalb welcher dieselbe erfolgt, beobachtet.

c. **Resultate.**

Wir geben dieselben nach Schübler. Er erwärmte die Erden bis auf 62°,5 und beobachtete in einem geschlossenen Zimmer die Zeit, welche sie bedurften, um bis auf 21°,2 sich abzukühlen; die Temperatur der Luft in dem Zimmer betrug 16°,2. Die Erden wurden in blecherne Gefäße von 595 Kubikcentimeter Inhalt gebracht.

Erdarten.	Wärmehaltende Kraft, die des Kalksandes = 100 gesetzt.	Länge der Zeit, während welcher 595 Kubikcentimeter sich von 62°,5 bis auf 21°,2 abkühlten, wenn die Temperatur der umgebenden Luft = 16°,2 betrug.
Kalksand	100,0	3 Stunden 30 Minuten.
Quarzsand	95,6	3 „ 20 „
Gyps, gepulvert	73,8	2 „ 34 „
Thon, mit 45 % Sand	76,9	2 „ 41 „
Thon, mit 24 % Sand	71,8	2 „ 30 „
Thon, mit 10 % Sand	68,4	2 „ 24 „
Reiner Thon, ohne Sand	66,7	2 „ 19 „
Feiner kohlens. Kalk	61,3	2 „ 10 „
Humussäure	49,0	1 „ 43 „
Gartenerde	64,8	2 „ 16 „
Ackererde	70,1	2 „ 27 „
Schiefriger Mergel	98,1	3 „ 26 „

d. **Discussion dieser Resultate.**

α. Im Allgemeinen scheint die wärmehaltende Kraft dem absoluten Gewicht der Erden proportional zu sein.

β. Die Sandarten besitzen die größte wärmehaltende Kraft; ihnen steht der schiefrige Mergel am nächsten.

γ. Der Humus hat die geringste wärmehaltende Kraft.

δ. Die wärmehaltende Kraft der Thone ist geringer, als die des Sandes, aber größer, als die des Humus.

6. Sonstige Eigenschaften des Bodens.

Von diesen verdienen genannt zu werden das galvanische und electrische Verhalten der Erden und ihre Fähigkeit, Sauerstoffgas und Ammoniak an ihrer Oberfläche zu verdichten.

a. Nach Schübler sind die reinen Erden, Sand, Kalk, Gyps im trocknen Zustande Nichtleiter der Electricität, während die Thonarten als Halbleiter und die zusammengesetzten thonhaltigen Erden als schwache Halbleiter auftreten. Es soll übrigens der Gehalt von etwas Feuchtigkeit und

Eisenoxyd, welche sich in allen Thonarten finden, der Grund dieser Erscheinung sein.

Ferner fand Schübler, daß durch Reiben alle Erden negative Electricität entwickeln, wenn man trockene längliche Stücke derselben mit einem Messer schabt und die feinen abspringenden Theilchen unmittelbar auf die Scheibe eines Electrometers fallen läßt; das Volta'sche Strohhalmelectrometer zeigte bei diesem Verfahren gewöhnlich Divergenzen von 4—5 Graden. Eis, auf dieselbe Art behandelt, gab positive Electricität.

b. Im nassen Zustand besitzen alle Erdarten die Eigenschaft, Sauerstoffgas der Atmosphäre zu entziehen und zu verdichten, was hauptsächlich auf einer chemischen Verwandtschaft des Oxygens zu mehreren Bestandtheilen der Erden (Humus, Eisen- und Manganoxydul), aber auch auf der rein physikalischen Anziehung, welche feste Körper gegen Gase äußern, beruhen kann.

Es scheint indessen diese Eigenschaft für den Ackerbau und die Waldwirthschaft ohne Bedeutung zu sein.

Um die Erden auf ihre Fähigkeit, Sauerstoffgas aus der Luft zu absorbiren, zu prüfen, brachte Schübler dieselben in mäßig befeuchtetem Zustande in gläserne Flaschen. Nachdem letztere mehrere Tage einer Temperatur von 15°—18° ausgesetzt waren, untersuchte Schübler die Luft in den Flaschen auf ihren Sauerstoffgehalt. Er fand

α. daß sämmtliche Erdarten durch Austrocknen die Eigenschaft, Sauerstoff zu absorbiren, einbüßen.

β. Daß der Humus die größte, Sand und pulverisirter Gyps die geringste Sauerstoffabsorption zeigen. Die Thonarten stehen in der Mitte zwischen Sand und Humus; sie absorbiren um so mehr Sauerstoff, je weniger Sand ihnen beigemengt ist.

c. Die Fähigkeit, das in der Atmosphäre enthaltene Ammoniak zu verdichten, ist vorzüglich dem Thon, dem Mergel und dem Humus eigen. Die Humussäure bindet das Ammoniak chemisch und hält es mit großer Begierde fest.

Der beim Anhauchen des Thons sich entwickelnde sog. Thongeruch rührt von absorbirtem Ammoniak her, welches durch die Feuchtigkeit des Athems ausgetrieben wird.

Nach Krocker enthält

Mergel $\frac{5}{1000}$ bis $\frac{1}{10}$ Prozent Ammoniak,
Lehm $\frac{104}{1000}$ bis $\frac{170}{1000}$ " "
Sand $\frac{31}{1000}$ bis $\frac{1}{10}$ " "

Liebig berechnet, daß in einem Hectare thoniger Erde bei einer Tiefe von 25 Centimetern 10000 Kilogramme, in einem ganz sandigen Terrain dagegen noch über 2000 Kilogramme reines Ammoniak enthalten sind.

7. Zusammenstellung der Resultate, zu welchen die Untersuchungen

Erdarten.	Specifisches Gewicht. Wasser = 1	Gewicht eines Kubikdecimeters Erde: bei 60 Grad getrocknet.	Gewicht eines Kubikdecimeters Erde: Angenäßt.	Festigkeit im trocknen Zustand, die des Thons = 100 gesetzt.	Adhäsion an einer Fläche von 1 Quadratdecimeter: Eisen	Adhäsion an einer Fläche von 1 Quadratdecimeter: Holz	Volumsverminderung durch Austrocknen. 1000 Raumtheile geben durch Austrocknen	Volumsverminderung durch Austrocknen. 1000 Raumtheile vermindern ihr Volumen
		Kilogramme.			Kilogramme.			
Quarzsand	2,653	2,044	2,494	0,0	0,17	0,19	1000	0
Kalksand	2,722	2,085	2,605	0,0	0,19	0,20	1000	0
Thon mit 45 % Sand	2,601	1,799	2,386	57,3	0,35	0,40	940	60
Thon mit 24 % Sand	2,581	1,621	2,194	68,8	0,48	0,52	911	89
Thon mit 10 % Sand	2,560	1,423	2,156	83,3	0,78	0,86	866	114
Reiner Thon ohne Sand	2,533	1,376	2,126	100,0	1,22	1,32	817	183
Feiner kohlensaurer Kalk	2,468	1,006	1,758	5,0	0,65	0,71	950	50
Gepulverter Gyps	2,331	1,676	2,350	7,3	0,49	0,53	1000	0
Humussäure	1,370	0,632	1,428	8,7	0,40	0,42	800	200
Schiefriger Mergel	2,613	2,048	2,600	23,0	0,22	0,25	965	95
Gartenerde	2,332	1,449	1,744	7,6	0,29	0,34	851	149
Ackererde	2,401	1,537	2,810	33,0	0,26	0,28	880	120

über die physikalischen Eigenschaften der Erden geführt haben.

Wasseraufnahmefähigkeit Gewichts-	Volum- Prozente.	Wasserzurückhaltende Kraft. Von 100 Raumth. Wasser verdunsten in derselben Zeit	Gleiche Theile bedürfen Zeit, um auf denselben Grad auszutrocknen	Wasserdampfabsorptionsfähigkeit. Gleiche Gewichtstheile Erde absorbiren in Stunden 12	24	48	72	Erwärmungsfähigkeit. Temperaturmaxima bei natürlich gefärbter Oberfläche nasse Erde	trockne Erde	Wärmehaltende Kraft, die des Kalksandes = 100 gesetzt.
25	49,9	88,4	4 St. 4 M.	0,0	0,0	0,0	0,0	37,2	44,7	95,6
29	58,2	75,9	4 „ 44 „	1,0	1,5	1,5	1,5	37,4	44,5	100,0
40	68,2	52,0	6 „ 55 „	10,5	13,0	14,0	14,0	36,7	44,1	76,9
50	73,0	45,7	7 „ 52 „	12,5	15,0	17,0	17,5	37,2	44,5	71,8
61	81,7	34,9	10 „ 19 „	15,0	18,0	20,0	20,5	37,4	44,6	68,4
70	87,5	31,9	11 „ 17 „	18,5	21,0	24,0	24,5	37,5	44,7	66,7
85	80,8	28,0	12 „ 51 „	13,0	15,5	17,5	17,5	35,6	43,6	61,3
27	50,1	71,7	5 „ 1 „	0,5	0,5	0,5	0,5	36,2	43,6	73,8
190	93,5	20,5	17 „ 33 „	40,0	48,5	55,0	60,0	39,7	47,4	49,0
34	66,0	68,0	5 „ 53 „	12,0	14,5	15,5	15,8	38,7	46,2	98,1
89	82,1	24,3	14 „ 49 „	17,5	22,5	25,0	26,0	37,5	45,2	64,8
52	74,5	32,0	11 „ 15 „	8,0	11,5	11,5	11,5	36,9	44,2	70,1

Drittes Buch.

Die Bestandtheile der Atmosphäre.

1. Begriff von Atmosphäre.

Die gasförmige Hülle, welche den festen Erdkörper umkleidet, nennt man Atmosphäre (von ᾿ατμός = Dunst und σφαίρα = Kugel), gemeinhin Luft. Sie besteht aus Gasen (welche weder durch Druck, noch durch Abkühlung zu Flüssigkeiten sich verdichten lassen), aus Dämpfen und aus kleinen Partikelchen fester Körper — dem sogenannten Luftstaub.

Die wesentlichen Bestandtheile der Luft bilden die beiden Gase Sauerstoff und Stickstoff. Außer diesen und dem Luftstaub enthält die Luft zu allen Zeiten und an allen Orten Kohlensäure, Ammoniak und Wasserdampf, seltener und nur in sehr geringen Mengen Kohlenwasserstoff und freies Wasserstoffgas.

2. Quantitatives Verhältniß von Sauerstoff und Stickstoff.

Die Menge des Sauerstoffs und Stickstoffs in der Luft kann sowohl dem Raum (Volumen), als auch dem Gewicht nach bestimmt werden.

Es fanden

	Saussure.	Brunner	
Sauerstoff	21,05	78,07	Volumtheile.
Stickstoff	78,95	78,93	
	100,00	100,00	

	Dumas und Boussingault.	
Sauerstoff	23,07	Gewichtstheile.
Stickstoff	76,93	
	100,00	

Rundet man die obigen Zahlen auf ganze Stellen ab, so ergibt sich die Zusammensetzung der Luft, wie folgt:

	In Raumtheilen	in Gewichtstheilen
Sauerstoff	21	23
Stickstoff	79	77
	100	100

Die Zusammensetzung der Luft scheint, was ihren Sauerstoff- und Stickstoffgehalt anlangt, allerwärts über dem festen Lande die nämliche zu sein. Gay Lussac fand die von seiner Luftreise aus einer Höhe von 21000 Par. Fußen mitgebrachte Luft gerade so beschaffen, wie die Luft von Paris. Ebenso kam Brunner zu dem Resultate, daß die Luft auf dem Faulhorn in 8000 Fuß Meereshöhe gerade so zusammengesetzt sei, wie diejenige der Ebene. Die Luft auf dem Antisana (in 16600 Par. F.) und auf dem Mont Cenis ist nach A. v. Humboldt in ihrer Zusammensetzung nicht anders beschaffen, als die Luft in Paris. Zu den nämlichen Ergebnissen kam Boussingault, als er die Luft zu St. Fé de Bogota (in 2643 Metern) und zu Ibagué (1333 Meter Meereshöhe) analysirte; für Bogota fand er 20,65 % und für Ibagué 20,7 % Sauerstoff. Die Abweichung dieser Zahlen von den vorhin angegebenen liegt in der Grenze der unvermeidlichen Fehler.

Selbst in mit Menschen erfüllten Räumen, wo ständig Sauerstoffgas durch das Athmen verbraucht wird, wie in Theatern, Hörsälen, Hospitälern u. s. w. soll nach Gay-Lussac, v. Humboldt und Davy die Luft nicht merklich verschieden sein von derjenigen, welche sich außerhalb im Freien befindet. Diese Uebereinstimmung beruht auf dem raschen Wechsel der Luft welcher durch die Ritzen der Fenster, Thüren u. s. w. erfolgt. Vereinzelt steht die Angabe von Leblanc da, welcher in der Luft eines Hörsals für Chemie nach dem Schlusse der Vorlesung nur 21,96 Gewichtsprozente Sauerstoff gefunden haben will.

Die in Wasser gelöste Luft enthält 32 % Sauerstoff und 68 % Stickstoff; sie ist reicher an Sauerstoff, als die atmosphärische Luft. Das Wasser löst also verhältnißmäßig mehr Sauerstoff, als Stickstoff, auf. Humboldt und Gay-Lussac fanden

in destillirtem Wasser	32,9 %	Sauerstoffgas
im Seine-Wasser	31,9 %	"
" Regenwasser	31,0 %	"

Der Schnee enthält in seinen Poren, zwischen den Krystallen, Luft. Läßt man den Schnee in einem luftleeren Gefäße schmelzen, so sammelt sich die Luft über dem Schneewasser an. Saussure, Sennebier und Boussingault untersuchten die Luft im Schnee von den Alpen, dem Chimborazo und im Schnee von Paris, sie fanden nur 16—19 % Sauerstoff, was nicht auffallen kann, wenn man bedenkt, daß das Wasser, welches durch Schmelzen des Schnees entsteht, mehr Sauerstoff, als Stickstoff löst. Eben dieser Umstand erklärt auch, warum die Luft dicht über dem Meere weniger Sauerstoff

enthält; es fand Lewy bei 57°56′ nördl. Breite und 8°22′ östlicher Länge von Paris nur 22,57 % Sauerstoff, dagegen die Luft in Kopenhagen gerade so zusammengesetzt, wie die Luft zu Paris. Der Regen scheint übrigens der Luft keine beträchtliche Menge Sauerstoff zu entziehen, wenigstens fanden Dumas und Boussingault die Zusammensetzung der Luft nach anhaltendem Regen ganz normal.

Auch die Luft über Sümpfen soll nicht weniger Sauerstoff enthalten, als diejenige auf den Bergen.

Die Vergleichung der älteren Luftanalysen von Thenérd und v. Humboldt mit den neuern von Dumas und Boussingault hat ergeben, daß das relative Verhältniß von Sauerstoff und Stickstoff in der Atmosphäre seit vierzig Jahren sich nicht geändert hat.

Der Sauerstoff dient den Menschen und Thieren zum Athmen; er wird außerdem von abgestorbenen Organismen verbraucht, wenn diese faulen oder verwesen. Den Verlust, welchen die Luft hierdurch erleidet, gleicht aber wieder der Vegetationsprozeß aus; die Pflanzen nehmen, wie wir später sehen werden, die beim Athmen, bei der Fäulniß und Verwesung gebildete Kohlensäure auf, halten deren Kohlenstoff zurück und geben den reinen Sauerstoff wieder aus. Aber wenn selbst ein Ersatz des Sauerstoffs durch die Vegetation nicht stattfände, so würde doch, unter der Voraussetzung, daß ein Mensch täglich ein Kilogramm Sauerstoff zum Athmen verbraucht, und daß die zum Fäulniß- und Verwesungsprozeß verwendete Sauerstoffmenge das dreifache der von 1000 Millionen auf der Erde lebenden Menschen betrüge, nach Ablauf eines Jahrhunderts die Luft nur $\frac{1}{134000}$ Sauerstoff verloren habe, wie Dumas mit Schärfe nachgewiesen hat.

3. Die Luft ist keine chemische Verbindung von Sauerstoff und Stickstoff.

Für diesen Satz gibt es folgende Beweise:

a. Das Verhältniß des Sauerstoffs und Stickstoffs in der Luft entspricht nicht den chemischen Aequivalentenzahlen. Denn in diesem Falle müßten auf 23 Gewichtstheile Sauerstoff nicht 77, sondern 40,48 Gewichtstheile Stickstoff kommen.

b. Stellt man künstlich ein Gemenge von Sauerstoff und Stickstoff nach den nämlichen Verhältnissen her, wie diese beiden Gase in der Luft enthalten sind, so erfolgt keine Volumsverminderung, welche man doch stets wahrnimmt, wenn zwei Gase in einem andern Volumverhältnisse als von 1 : 1 sich verbinden.

So bilden z. B. 2 Raumtheile Wasserstoffgas und 1 Raumtheil Sauerstoffgas 2 Raumtheile Wasserdampf; 1 Raumtheil Stickstoffgas und 2 Theile Wasserstoffgas geben 2 Raumtheile Ammoniakgas.

c. Dieses Gemenge zeigt die nämlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften, wie die ächte atmosphärische Luft.

4. Kohlensäure.

Sie besteht aus Kohlenstoff und Sauerstoff, deren relatives Verhältniß durch die Formel CO_2 ausgedrückt ist. Ihrer prozentischen Zusammensetzung nach enthält die Kohlensäure:

Kohlenstoff	27,27
Sauerstoff	72,73
	100,00

Wenn Sauerstoff mit Kohlenstoff zu Kohlensäure sich verbindet, so nimmt letztere keinen größern Raum ein, als das Sauerstoffgas, aus welchem sie entstanden ist.

Die Kohlensäure ist bei gewöhnlichem Luftdruck ein Gas. Ihr specifisches Gewicht beträgt 1,52, wenn dasjenige der Luft = 1,00, das des Sauerstoffs = 1,1057, das des Stickstoffes = 0,972 ist.

Bei einem Druck von 36 Atmosphären läßt sich die Kohlensäure zu einer Flüssigkeit verdichten, welche an der Luft rasch verdunstet, wobei eine schneeartige Masse sich bildet.

Die Kohlensäure löst sich in Wasser auf. Dieses nimmt stets das gleiche Volumen von ihr auf, einerlei, ob dieselbe in dichtem oder dünnem Zustand sich befindet. Verdichtet man die Kohlensäure durch Druck (ohne sie in den flüssigen Zustand zu bringen) und löst sie dann in Wasser, so enthält dies also um so mehr davon, je stärker der angewendete Druck war. Vollkommen flüssige Kohlensäure löst sich aber nicht in Wasser auf, sondern lagert sich über demselben, auch nach vorherigem Schütteln ab.

Nach Couerbe soll das Wasser schon bei 7 Atmosphären Druck nicht mehr das sieben-, sondern nur das fünffache Volum Kohlensäure aufnehmen und überhaupt bei noch höherem Druck die absorbirte Menge Säure immer kleiner ausfallen.

Die Kohlensäure verbindet sich mit vielen Basen zu Salzen, von denen die doppeltsauren durch ihre größere Löslichkeit ausgezeichnet sind.

In der Luft verbreitet sich die Kohlensäure nach dem Gesetz der Diffusion der Gase nach allen Richtungen hin; obgleich sie selbst schwerer, als die Luft ist, so dringt sie doch aufwärts bis zu den beträchtlichsten Höhen.

Der Kohlensäuregehalt der Luft ist übrigens vielfachen und fortwährenden Schwankungen unterworfen.

Abends ist mehr Kohlensäure in der Luft enthalten, als am Mittage, was daher rühren mag, weil mit dem Verschwinden des hellen Tageslichtes die Zersetzung der Kohlensäure durch die Pflanzen aufhört und die durch die Wurzeln der Gewächse aufgenommene unverändert durch

die Blätter ausgeschieden wird. Saussure fand den Kohlensäuregehalt der Luft in Volumprozenten:

Am 22. Mai	Mittags	0,0581	Abends	0,0623
„ 7. Juli	„	0,0580	„	0,0620
„ 3. Septbr.	„	0,0561	„	0,0601
„ 6. Novbr.	„	0,0430	„	0,0486

im Durchschnitt wie 21 : 23.

Im Sommer enthält die Luft mehr Kohlensäure, als im Winter, wahrscheinlich deshalb, weil im Sommer der Verwesungsprozeß durch die höhere Temperatur beschleunigt wird. Saussure fand

im Januar	1809	0,0457	im Juli	1811	0,0647
„ „	1811	0,0466	„ „	1815	0,0713
„ „	1812	0,0425	„ August	1810	0,0779
„ November	1810	0,0425			

Im Durchschnitt Sommer zu Winter = 7 : 6.

Ueber dem Meere besitzt die Luft viel weniger Kohlensäure, als über dem Lande, weil sie vom Wasser absorbirt wird. In der Luft über der Ostsee konnte man nur Spuren von Kohlensäure auffinden. Ueber dem atlantischen Ocean fand Lewy die Luft bei Tage reicher an Kohlensäure, als des Nachts. Dieser Unterschied beruht wahrscheinlich darauf, weil die im Meerwasser gelöste Luft mehr Kohlensäure (12—19 Theile in 10,000 Volumtheilen Luft) enthält und weil bei Tage durch die Sonnenwärme etwas von dieser Luft entbunden wird.

Die Luft auf den Bergen enthält Kohlensäure.

Dies bestätigen die Untersuchungen, welche Saussure mit Luft angestellt hat, die er auf dem Montblanc sammelte. Auch in der von Gay-Lussac bei seiner Luftreise aus einer Höhe von 21000 Par. Fußen mitgebrachten Luft ließ sich dieselbe nachweisen. Nach mehreren Versuchen Saussure's scheint sogar die Luft auf Bergen etwas mehr Kohlensäure zu enthalten, als die Luft in der Ebene. Er fand in Volumprozenten

auf dem Col de Faucille (963 Meter über dem Genfer See.)	0,0443	0,0454	0,0369	0,0360	0,0422	0,0395
zu Chambeisy	0,0414	0,0415	0,0387	0,0322	0,0355	0,0315

Die Saussure'schen Erfahrungen sind in neuerer Zeit durch Lewy und Schlagintweit bestätigt worden. Ersterer fand

zu St. Maria (Neugranada) im Meeresniveau	0,04616	Volumproz.	Kohlens.
zu Monserrate in 3193 Meter Höhe	0,05215	„	„
zu Bogota „ 2645 „ „	0,04994	„	„

Schlagintweit fand in den Alpen auf freien Erhebungen zwischen 9700 und 13000 Par. F. im Minimum 0,0594, im Maximum 0,095 Volumprozente.

Die Luft in Höhen von 4218, 5086 und 5925 Par. F. in Wallis und Piemont enthielt resp. 0,0497, 0,0480, 0,0475 Volumprozente Kohlensäure.

Nach längerem Regen ist die Luft ärmer an Kohlensäure, als bei trockenem Wetter, weil das Regenwasser die Kohlensäure auflöst. Nach starkem Thau soll dagegen die relative Menge derselben in der Atmosphäre steigen. Auch bei starkem Wind hat man eine Vermehrung des Kohlensäuregehaltes der Luft bemerkt.

Aus vielen Untersuchungen Lewy's ergibt sich der mittlere Kohlensäuregehalt der Luft in Frankreich bei heiterm Wetter zu 0,05144, nach Regen zu 0,03586 Volumprozenten.

Die Luft in den Zwischenräumen des Bodens ist reich an Kohlensäure.

Boussingault und Lewy versenkten eine Brause in den Boden von Ackerland 30—40 Centimeter tief; die Luft wurde mittelst eines langsam wirkenden Aspirators aufgesogen. Sie fanden in derselben 22 bis 23 mal so viel Kohlensäure, als in der Luft über dem Boden, ja sogar bei frisch gedüngtem Lande 245mal so viel.

Nimmt man das Mittel aus allen Tages- und Jahreszeiten, so findet man, daß in 10000 Theilen Luft

5 Volumtheile und
8 Gewichtstheile

Kohlensäure enthalten sind, was 0,05 Volum- und 0,08 Gewichtsprozente ausmacht.

Quellen der Kohlensäure. Man muß annehmen, daß schon zur Zeit der Grauwackengruppe eine gewisse Quantität Kohlensäure der Atmosphäre eigenthümlich war, denn damals gab es schon Pflanzen, und diese bedurften der Kohlensäure zu ihrer Ernährung. Indessen hätte der Kohlensäuregehalt aus der Atmosphäre endlich verschwinden müssen, wenn nicht eine Quelle des Ersatzes dagewesen wäre. Eine solche liefert vornehmlich der Verwesungsprozeß. Wir haben früher gesehen, daß der Kohlenstoff abgestorbener Vegetabilien in Kohlensäure sich verwandelt.

Auch durch die Verbrennung des Holzes, des Torfes und der Steinkohlen wird eine große Menge Kohlensäure der Luft zugeführt.

An vielen Orten strömt kohlensaures Gas aus Erdspalten, z. B. in der Eifel. Wahrscheinlich entwickelt sich dasselbe tief im Erdinnern, indem kohlensaurer Kalk in der Glühhitze mit Kieselsäure in Berührung kommt. Letztere verbindet sich mit der Kalkerde und treibt die Kohlensäure aus. Nach Trommsdorff exhalirt allein die Kaiser-Franzensbadquelle bei Eger jährlich 10512 Kubikmeter Kohlensäure. Die Quelle bei Nauheim in der Wetterau entwickelt täglich 3160 Kubikmeter Kohlensäure.

5. Ammoniak.

Dieses ist eine Verbindung von Stickstoff mit Wasserstoff. Seine Formel ist NH_3. Es kommt in der Natur fast immer in Verbindung mit Säuren, vornehmlich mit Kohlensäure — in letzterem Falle als anderthalb kohlensaures Ammoniak $= 3\ CO_2 + 2\ NH_3 + 2\ OH$ vor. Nach Gewittern findet sich auch salpetersaures Ammoniak $= NO_5 + NH_3 + OH$ in der Luft. Es erzeugt sich nämlich, wenn die Funken des Blitzes durch die feuchte Atmosphäre schlagen, Salpetersäure, welche sich mit dem Ammoniak verbindet. Schwefelsaures Ammoniak entsteht, wenn kohlensaures Ammoniak mit schwefelsauren Salzen, z. B. mit Gyps, in Berührung kommt. Die beiden Basen tauschen dann ihre Säuren um.

$$SO_3 + CaO$$
$$>\!<$$
$$CO_2 + NH_3.$$

Das Ammoniak bildet sich, wenn stickstoffhaltige Substanzen (vorzüglich Animalien) bei Abwesenheit starker Basen verwesen. Sind dagegen letztere, z. B. Kali, Natron, Kalk, Bittererde zugegen, so geht das Ammoniak in Salpetersäure über, welche sich mit den Basen verbindet.

Einige Körper, wie Thon, Mergel, Humus, sind ausgezeichnet befähigt, Ammoniak an ihrer Oberfläche zu verdichten.

Die Quantität des in der Atmosphäre befindlichen Ammoniaks ist sehr gering; nach Gräger soll in 100000 Theilen Luft 1 Theil Ammoniak enthalten sein.

Regen- und Schneewasser zeigt immer Spuren von Ammoniak. Das nach vorhergegangener Trockenheit zuerst fallende Regenwasser ist reicher an Ammoniak, als das später nachfolgende. Nach einigen Regengüssen ist die Luft von Ammoniak fast gereinigt; das folgende muß erst wieder durch den Fäulnißprozeß geschaffen werden.

Setzt man Schwefelsäure in einem weiten Gefäße der Luft aus, so zeigt sie sich bald ammoniakhaltig.

6. Wasserdampf.

Von diesem werden wir später, bei der Betrachtung der Hydrometeore, ausführlich handeln. Vorerst wollen wir nur das bemerken, daß die Luft zu allen Zeiten und an allen Orten Wasserdampf enthält. Seine Quantität wechselt aber mit Tages- und Jahreszeit und ist auch nach der geographischen Länge und Breite verschieden.

7. Salpetersäure.

Sie findet sich vorzüglich nur nach Gewittern in der Atmosphäre; bei diesen erzeugt sie sich, wie früher schon angegeben wurde, dann, wenn der Blitz durch die mit Wasserdampf angefüllte Atmosphäre schlägt.

Die Quantität der Salpetersäure in der Luft ist immer unbedeutend und kann nur im Regenwasser nachgewiesen werden. Liebig fand unter 77 Regenwassern, die in der Nähe von Gießen aufgefangen wurden, nur 19 salpetersäurehaltig, davon rührten 17 von Gewitterregen her. In den durch häufige und starke Gewitter ausgezeichneten Aequinoctialgegenden soll, nach Boussingault, die Luft reicher an freier Salpetersäure sein.

8. **Luftstaub.** (Aerolithen.)

In der Atmosphäre schweben zu jeder Zeit und an allen Orten, in der Ebene und auf den Gipfeln der Berge kleine, nur bei starker Beleuchtung sichtbare feste Partikelchen, welche nichts anders, als losgerissene Theile von organischen und unorganischen Körpern sind, die durch ihre geringe Schwere sich schwebend erhalten können. Dieser Luftstaub rührt zum größten Theil von der Verbrennung des Holzes, der Steinkohlen, vornehmlich aber des Torfes her. Durch den Luftzug, auf Kosten dessen die Verbrennung stattfindet, wird Asche, Kohle u. s. w. mechanisch in die Atmosphäre entführt. In der Nähe von thätigen Vulkanen werden oft große Quantitäten von Asche in der Luft wahrgenommen, die bei starkem Wind mitunter sehr weit transportirt werden. So trieb die Asche des Vulkans Cosiguina in Nicaragua im Jahr 1835 bis nach Jamaika. Die Aschenauswürfe feuerspeiender Berge sind manchmal so bedeutend, daß durch dieselben die Luft verfinstert wird. Diese Asche trägt mitunter zur Bodengestaltung sehr wesentlich bei.

Neben dem eigentlichen Luftstaub kommen in der Atmosphäre lebende, organisirte Wesen — die Infusorien — vor, welche sich auf diesem Wege von einem Ort zum andern verbreiten.

Daß fortwährend organische Stoffe in der Luft vorhanden sind, läßt sich dadurch nachweisen, daß man salpetersaures Silberoxyd derselben aussetzt. Dieses nimmt nach kurzer Zeit eine violette Färbung an. Doch ist es sehr unwahrscheinlich, daß es eine *constante* organische Verbindung sei, welche diese Reaction hervorbringt und von Zimmermann *Pyrrhin* genannt worden ist.

Der nachtheilige Einfluß der Sümpfe und Moräste auf die Gesundheit des Menschen rührt gewiß weniger von der Gegenwart organischer Stoffe in der Luft über diesen Localitäten her, ist vielmehr der Verdunstungskälte, die überall an stehenden Gewässern auftritt und der großen Menge Kohlensäure zuzuschreiben, die sich durch Verwesen der an solchen Orten reichlich vorhandenen organischen Körper erzeugt und bei mangelndem Luftzug sich anhäuft.

Sehr viel Rauch wird in die Luft gebracht durch das in vielen Gegenden Deutschlands, vorzüglich aber in Westphalen, Ost- und Westpreußen und in Holland übliche Brennen der Torfmoore. Sicherlich ist dieses die Veranlassung des sogenannten *Höhenrauchs*, auch Haarrauch, Heerrauch, trockner

Nebel u. s. w. genannt. Jedermann kennt diese Erscheinung. Sie tritt gewöhnlich im Vorsommer ein. Bei heiterem Wetter und wolkenlosem Himmel trübt sich die Aussicht auf die am Rande des Horizonts liegenden Berge; sie sehen aus, wie von einem graugelben Flor umzogen. Die Sonne scheint matt, ihr Licht spielt ins Röthliche. Lange Zeit wurden für die Entstehung des Höhenrauchs fernliegende Ursachen gesucht. Man schrieb denselben bald der Electricität, bald mineralischen Ausdünstungen des Bodens zu. Neuere unbefangene Beobachtungen haben aber außer allen Zweifel gesetzt, daß er nur durch das Moorbrennen veranlaßt werde. Um den Torfboden zur Kultur vorzubereiten, schält man ihn mit Hacken ab, trocknet die Schollen, setzt sie auf Haufen und zündet sie an, wobei man ein Brennen derselben mit lichter Flamme zu vermeiden sucht. Es entwickelt sich daher und besonders dann, wenn die Schollen noch nicht völlig trocken sind, ein sehr starker Rauch, der durch den Wind fortgeführt wird. Das Moorbrennen ist, ebenso wie das Ueberlandbrennen und Schmoren der Hackwaldungen, schon seit sehr langer Zeit üblich; in den Hackwaldungen des Odenwaldes kannte man es schon vor 800 Jahren, wie sich durch Urkunden nachweisen läßt. Gewöhnlich tritt der Höhenrauch im mittlern und südlichen Deutschland bei Nordwind ein; ehe dieser zu wehen angefangen hat, zündet man in den Moorgegenden die Schollen nicht gern an, weil sie erst durch den Nordwind gehörig getrocknet werden. In sehr dürren Jahren zeigt sich die Erscheinung des Höhenrauchs mit besonderer Stärke, weil dann das Moorbrennen vorzugsweise leicht von Statten geht, auch Waldungen, Haiden u. s. w. in Brand gerathen.

Großes Aufsehen machte der Höhenrauch im Jahre 1783. Kämtz schildert denselben nach den Angaben von Brandes folgendermaßen: „Dieser Höhenrauch erfüllte an manchen Orten die ganze Atmosphäre so, daß man Gegenstände, welche nur $\frac{1}{4}$ Meile entfernt waren, an manchen Tagen entweder gar nicht, oder wenigstens nur blau und nebelig sah. Die Sonne erschien durch ihn roth und glanzlos, so daß man sie selbst um Mittag ansehen konnte; gegen die Zeit des Auf- und Unterganges verbarg sie sich ganz im Nebel. Am frühesten, nämlich am 29. Mai, wurde er in Kopenhagen beobachtet, wo eine Reihe von heitern warmen Tagen vorausgegangen war. Hier trat er also nach heiterm Wetter ein, während er an den meisten Orten nach einem Gewitter kam, an einigen Orten nach einem kalten Winde und in England bei anhaltend regnigem Wetter. In Rochelle wurde er am 6. und 7., in Dijon am 14. Julius beobachtet, nachher aber war die Luft am ersten Orte wieder frei von Nebel bis zum 18. Um die Mitte des Junius ist die eigentliche Zeit, wo er sich fast allenthalben auf einmal zeigte, indem er zwischen den 16. und 18. Junius in den meisten Gegenden von Deutschland, Frankreich und Italien beobachtet wurde, am 19. Junius wurde er in Franecker und den Niederlanden gesehen, am 22. in Spydberg in Norwegen, am 23. auf dem St. Gotthard und in Ofen,

am 24. in Stockholm, am 25. in Moskau, gegen Ende des Junius in Syrien und am 1. Julius am Altai. Der Nebel erstreckte sich also über ganz Europa bis nach Afrika, Syrien und in's Innere von Sibirien. Nach Toaldo und Lamanon bedeckte er das Adriatische Meer und einen Theil des Atlantischen Oceans, jedoch letztern nicht über 50 Meilen weit vom Lande. Dagegen erzählt van Swinden, daß ein von Norwegen nach Holland fahrender Schiffer, der am 19. Junius dort abreiste und am 2. Julius hier ankam, sich vom 25. bis 30. Junius vom dicksten Nebel umgeben fand. In England war er eben so dick, als auf dem Continente. Der Nebel erstreckte sich an mehreren Tagen bis über die Alpen, denn auf dem Gotthard, dem Salève, auf dem 6200 Fuß hohen Ventoux und auf den Alpen der Dauphiné in 10000 Fuß Höhe hat man ihn beobachtet; doch hat man zu andern Zeiten die Spitzen der Alpen darüber hervorragen sehen, während ihr Fuß verdeckt war. In einigen Gegenden scheint er nicht so hoch gestiegen zu sein, denn Marcorelle sagt, bei Narbonne habe er nicht die Höhe von 400 Toisen erreicht, habe daher mit der Gegend, wo Gewitter entstehen, in keiner Verbindung gestanden, und diesem Umstande müsse man es zuschreiben, daß die dortige Gegend so wenig Gewitter hatte. Dagegen fand Toaldo in Padua, daß er nicht bis zur Erde herabging, sondern aus den höhern Theilen der Atmosphäre zu kommen schien und so scheint er sich auch in Rom gezeigt zu haben. — Weder Wärme, noch Regen vertrieben den trockenen Nebel, selbst als es am 20. Junius in Franecker so heftig regnete, daß es in einer halben Stunde 20 Linien hoch Wasser fiel, dauerte er fort; doch glaubte man allemal einige Abnahme des Nebels nach Gewittern zu bemerken. Die Winde waren meist nördlich, aber an vielen Orten herrschte fast in der ganzen Zeit Windstille."

9. Kohlenwasserstoff, Wasserstoffgas.

Wenn organische Substanzen unter Wasser bei theilweise gehindertem Luftzutritt verwesen, so erzeugt sich leichtes Kohlenwasserstoffgas $= CH_2$, auch Sumpfluft genannt. Dieses, so wie das schwere Kohlenwasserstoffgas oder das ölbildende Gas $= CH$ entweichen auch bei unvollständiger Verbrennung der Heiz- und Leuchtstoffe. Boussingault will den Kohlenwasserstoff in der Luft, wenn auch in sehr geringer Menge, gefunden haben. Wasserstoffgas wird von einigen Vulkanen Amerika's in nicht unbeträchtlicher Quantität ausgestoßen. Aber schon in einiger Entfernung von diesen Vulkanen kann man es nicht mehr in der Luft nachweisen. Durch den Blitz wird es eben so wenig, wie das Kohlenwasserstoffgas verbrannt, weil die große Menge des daneben befindlichen Sauerstoff- und Stickgases dem entzündeten brennbaren Gase sogleich Wärme entziehen und dessen Temperatur so weit erniedrigen würde, daß die Verbrennung stocken müßte.

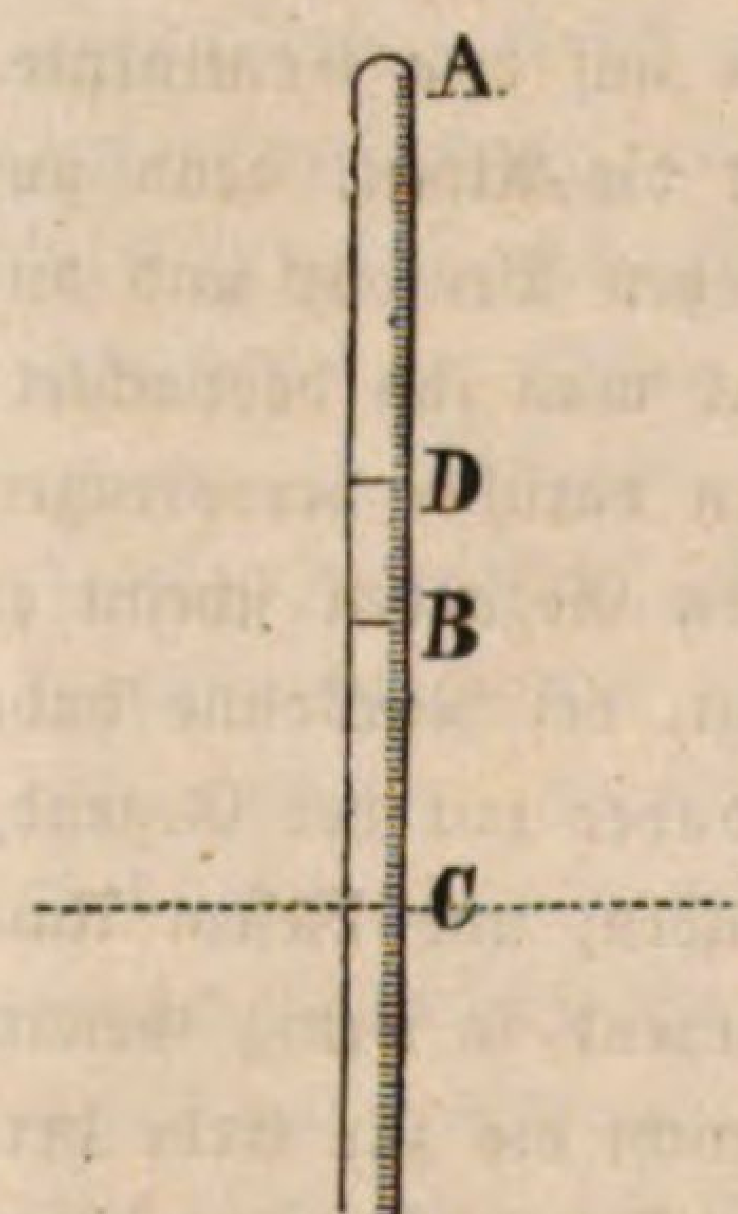
10. Eudiometrie.

Unter dieser versteht man die Untersuchung der Luft auf ihre Bestandtheile.

a. Um den Sauerstoffgehalt zu ermitteln, gibt es folgende Verfahren:

α. Volta's Eudiometer (Fig. 71.) besteht aus einer graduirten Röhre; die in ihr enthaltene Luft, welche auf ihren Sauerstoffgehalt zu untersuchen ist, hat man durch Quecksilber gesperrt. Zu dem anfänglich vorhandenen Luftquantum AB läßt man etwa halb so viel Raumtheile, also $\frac{AB}{2}$, Wasserstoffgas eintreten, so daß jetzt das Quecksilber bis C reicht. Am obern Theil der Röhre sind zwei Platindrähte eingeschmolzen, um einen electrischen Funken in das Gemenge von Wasserstoffgas und Luft hineinschlagen zu lassen. Dadurch wird der Wasserstoff entzündet, er verbrennt mit dem Sauerstoff zu Wasserdampf, welcher an den abgekühlten Wänden der Röhre sich absetzt. Man muß darauf Acht haben, daß das richtige Verhältniß vom Wasserstoff zum Sauerstoff getroffen werde. Hat man zu wenig Wasserstoff hinzugegeben, so wird nicht sämmtlicher Sauerstoff verbrannt; eine zu große Menge von Wasserstoff hindert aber die Verbrennung, weil durch den überschüssig zugesetzten Wasserstoff Wärme absorbirt und dadurch das der Verbrennung fähige Gasgemenge unter die Anzündungstemperatur abgekühlt wird. Wie vorhin, so wird auch bei dem gegenwärtigen Versuch die Flüssigkeit durch den Druck der äußern Luft gehoben; das Quecksilber steige bis D, so gibt der Raum CD das Volum des verschwundenen Sauerstoff- und Wasserstoffgases an. Da diese sich nun bekanntlich im Verhältniß von 1 : 2 verbinden, so ist klar, daß $\frac{1}{3}$ des Raums CD von Sauerstoffgas erfüllt gewesen sein muß; $\frac{1}{3}$ CD ist also auch die Menge Sauerstoffgas, welche in der zu untersuchenden Luft enthalten war.

Fig. 71.



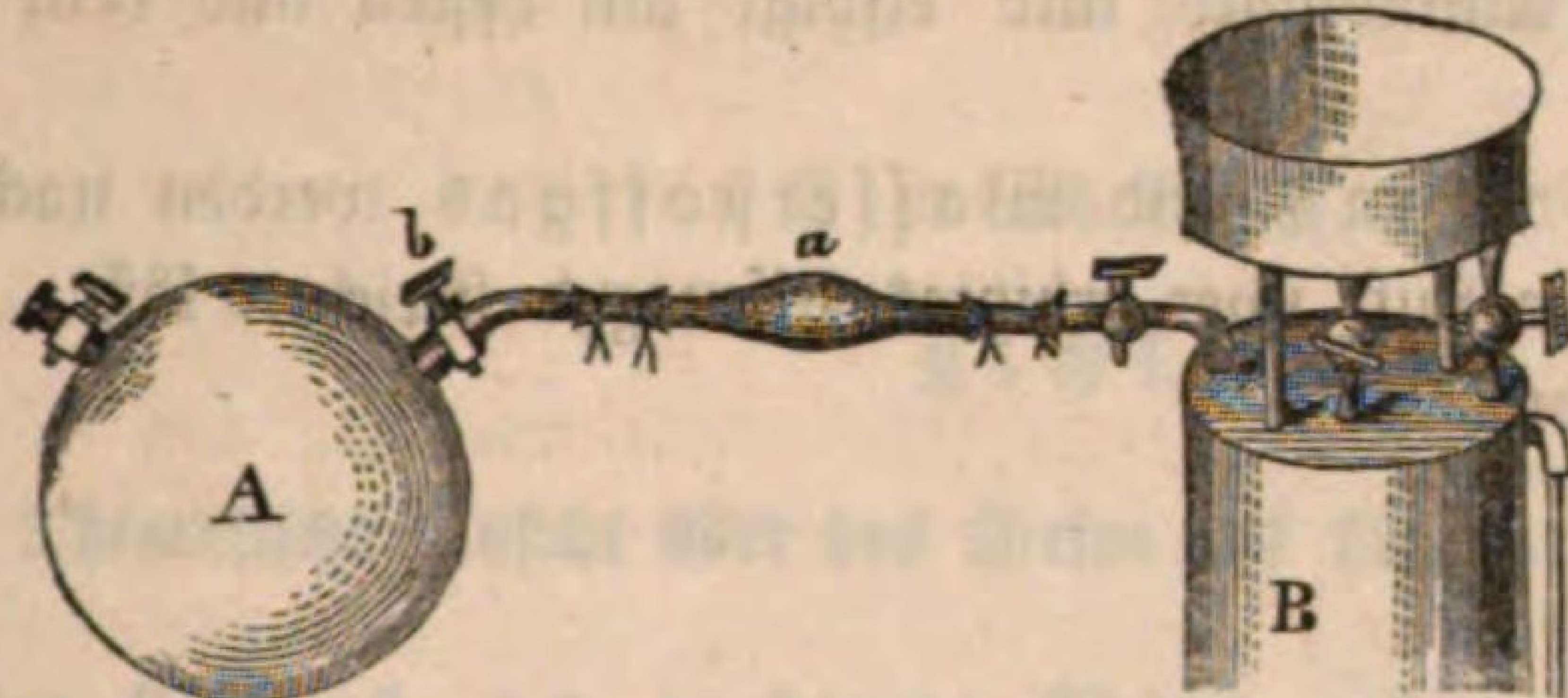
Da durch den electrischen Funken die Röhren nicht selten zersprengt werden, so hat man folgende Methode angewandt, welche diesen Uebelstand beseitigt. Man läßt ein aus Pfeifenthon und Platinschwamm geknetetes Kügelchen in die Röhre steigen, nachdem dieselbe mit Luft gefüllt und Wasserstoff zugegeben ist. Der Platinschwamm ist nichts anderes, als fein zertheiltes Platin; dieses besitzt die Eigenschaft, Sauerstoff an seiner Oberfläche zu verdichten, so daß letzterer gleichsam flüssig wird. In diesem Zustand mangelt ihm die Repulsivkraft und er verbindet sich nun bei gewöhnlicher Temperatur mit dem Wasserstoff zu Wasser.

β. Saussure bediente sich zu seinen eudiometrischen Untersuchungen eines

mit einem Hahnen verschlossenen Glasballons; in diesem befanden sich mit Wasser benetzte Bleischrote. Durch Schütteln wurden diese mit der Luft des Ballons in innige und wiederholte Berührung gebracht; sie oxydirten sich. Nun öffnete Saussure den Hahnen unter Wasser; die Menge Wassers, welches an der Stelle des (zur Oxydation des Bleies verwendeten) Sauerstoffs getreten war, gab ihm den Sauerstoffgehalt der zu prüfenden Luft an.

γ. Das Verfahren von Dumas und Boussingault besteht darin, daß man der Luft ihren Sauerstoff mittelst glühenden Kupfers entzieht. Letzteres befindet sich in der Ausbauchung einer Glasröhre (Fig. 72.), welche mit einem luftleer gemachten Ballon A in Verbindung steht.

Fig. 72.



Nachdem das Kupfer durch eine Weingeistflamme zum Glühen erhitzt ist, öffnet man den Hahn b; nun strömt die Luft über das Kupfer und gibt sämmtlichen Sauerstoff an dasselbe ab; der Stickstoff sammelt sich in dem Ballon A. Die Gewichtszunahme des Kupfers gibt die Menge des Sauerstoffs an. Damit man aber wisse, welchem Quantum Luft dieselbe entspricht, läßt man letztere aus einem Gasometer B von bekanntem räumlichen Inhalt ausströmen.

b. Den Stickstoffgehalt geben die sämmtlichen zur Bestimmung des Sauerstoffs angewendeten Verfahren ebenfalls an, wenn man die Luft vorher von ihren Nebenbestandtheilen gereinigt hat. Den Wasserdampf nimmt man durch Chlorcalcium, die Kohlensäure durch ätzendes Kali hinweg. Der Apparat von Dumas und Boussingault gestattet, den Stickstoff sowohl zu wiegen, als zu messen. Zu letzterm muß aber der räumliche Inhalt des Ballons A (Fig. 72.) bekannt sein.

c. Kohlensäure. Zur Bestimmung dieses Gases kann der Apparat Fig. 72. benutzt werden, wenn man ihm noch eine ausgebauchte Glasröhre c beigibt. In a wird Aetzkalk und in c mit Schwefelsäure befeuchteter Asbest gebracht. Letzterer befreit die Luft von ihrem Wasserdampfgehalt, während der Aetzkalk die Kohlensäure bindet. Sobald der Hahn b geöffnet wird, dringt die Luft in die Röhre; sie verliert über c ihr Wasser und über b ihre Kohlensäure. Aus der Gewichtszunahme des Kalkes ergibt sich der Kohlensäuregehalt der Luft für ein Volumen gleich dem des Gefäßes A.

d. Ammoniak. Seine Menge ist so gering, daß es nur im Regenwasser mit Sicherheit quantitativ nachgewiesen werden kann. Man dampft

das Wasser mit Salzsäure ab, es bildet sich Salmiak, den man wägt. Aus seiner Menge läßt sich die des Ammoniaks berechnen.

e. Wasserdampf. Die einfachern Verfahren zur Bestimmung des Wasserdampfgehaltes der Luft werden wir in dem Abschnitt über die Hydrometeore kennen lernen. Auch der unter γ angegebene Apparat (Fig. 72.) kann zur Ermittelung des Wasserdampfes dienen. Man hat den mit Schwefelsäure befeuchteten Asbest vor und nach dem Durchgang der Luft zu wiegen.

f. Salpetersäure. Ihre quantitative Bestimmung ist eben so mißlich, wie diejenige des Ammoniaks und erfolgt am besten aus dem Regenwasser.

g. Kohlenwasserstoffgas und Wasserstoffgas werden nachgewiesen, indem man die Luft über erhitztes Eisenoxyd streichen läßt. Dieses wird zu Metall reducirt.

Viertes Buch.

Licht.

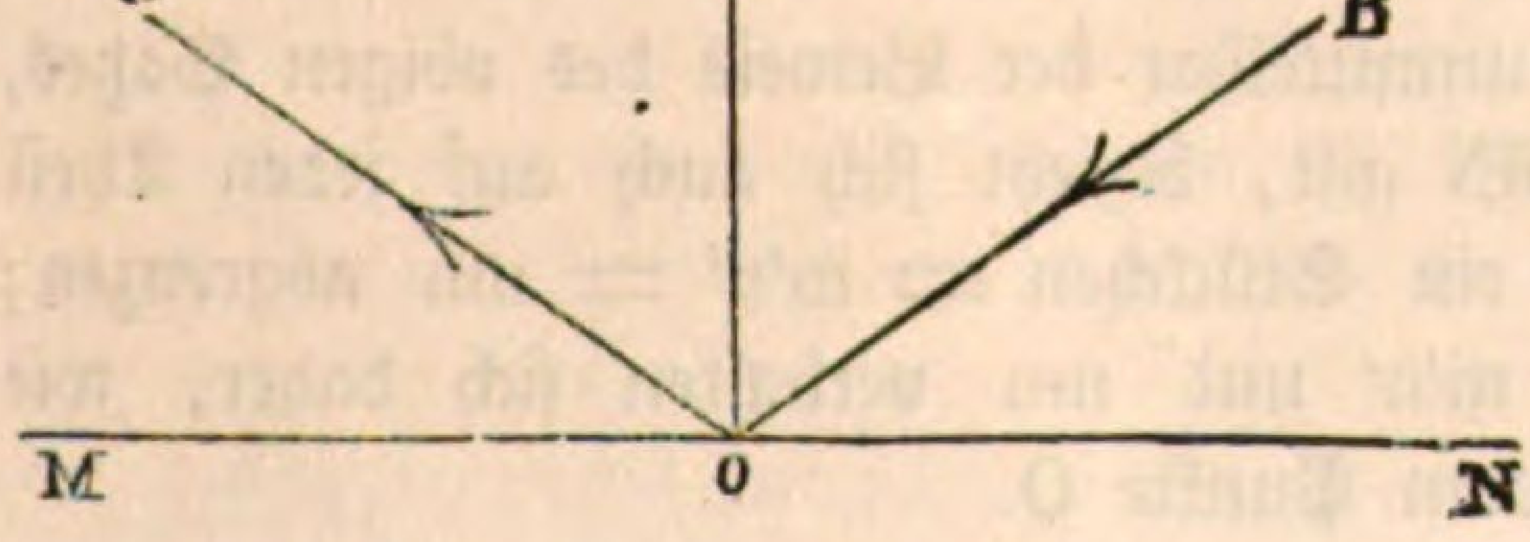
1. Theoretische Ansicht über das Wesen des Lichtes.

Der Eindruck, den leuchtende Körper auf unser Auge machen, wird von den Physikern in verschiedener Weise erklärt. Einige nehmen nach dem Vorgange Newtons an, das Licht sei eine sehr feine Materie, welche von dem leuchtenden Körper nach allen Richtungen ausfließe (Emanationshypothese). Andere sind der Ansicht, das Licht bestehe nur in den Schwingungen einer solchen Materie, die durch den ganzen Weltraum verbreitet sei. Sie nennen dieselbe Aether. Der leuchtende Körper versetze letztere in Schwingungen, ähnlich denjenigen, welche ein tönender Körper in der Luft bewirkt; wenn diese Vibrationen in unser Auge gelangten, verursachten sie den Eindruck des Sehens, (Vibrations-Hypothese, von Descartes und Snellius begründet und vorzüglich von Euler weiter ausgeführt). Die letztgenannte Erklärungsweise scheint die richtigere zu sein.

2. Fortpflanzung des Lichtes.

Das Licht pflanzt sich von den leuchtenden Körpern nach allen Richtungen hin in geraden Linien fort. Trifft es auf andere Körper, so wird es entweder reflectirt, oder, wenn es der Körper durch seine Masse hin passiren läßt, gebrochen, d. h. es ändert seine ursprüngliche Richtung.

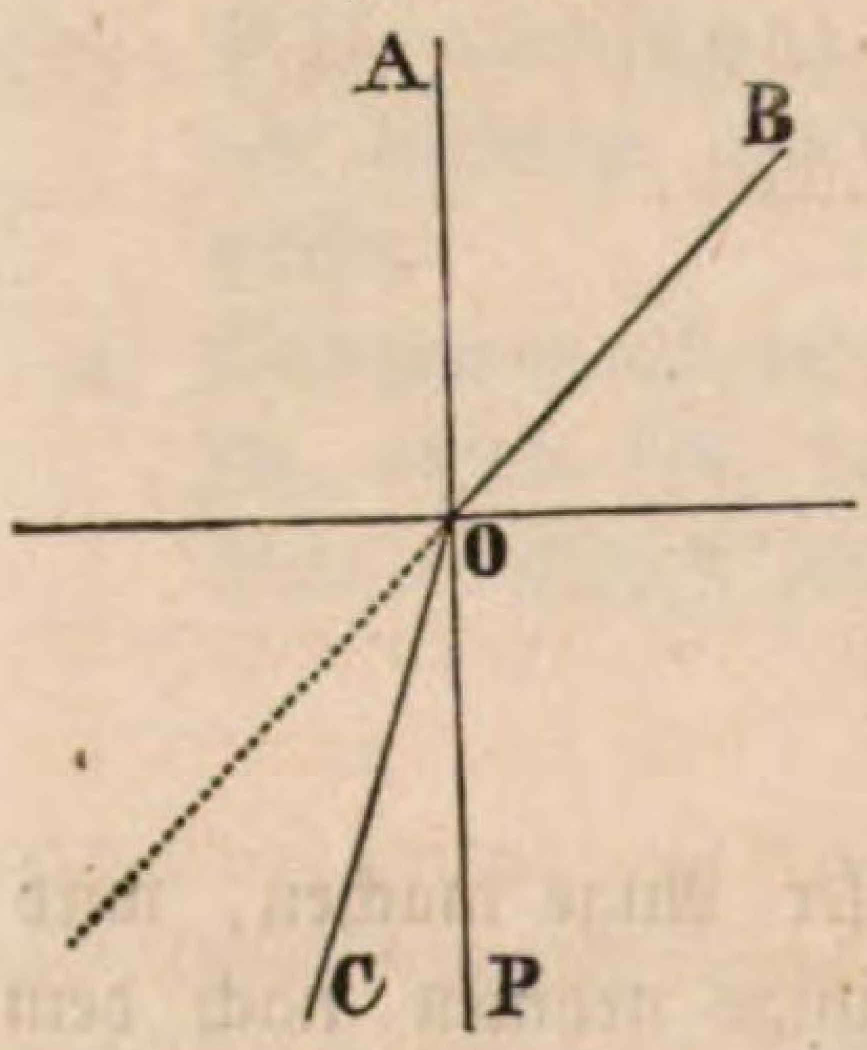
Fig. 73.



Die Beobachtung hat dargethan, daß der Einfallswinkel BOA, welchen der auf eine Fläche MN auffallende Lichtstrahl BO (Fig. 73.) mit den Einfallsloth AO (d. h. der Senkrechten auf MN) bildet, gleich dem Reflexionswinkel AOC ist. Der

Lichtstrahl BO wird also in der Richtung OC weiter fortgepflanzt. Dies findet indeß in bemerklicher Weise nur bei glatten Flächen statt. Rauhe Oberflächen können aus lauter kleinen glatten Flächenstückchen zusammengesetzt angesehen werden, von denen jedes das Licht für sich reflectirt. Weil aber die Anzahl dieser kleinen Flächen sehr groß ist, so erhält jede eine verhältnißmäßig nur geringe Menge von Licht. Die Reflexion des Lichtes auf rauhen Flächen nennt man die Zerstreuung desselben.

Fig. 74.

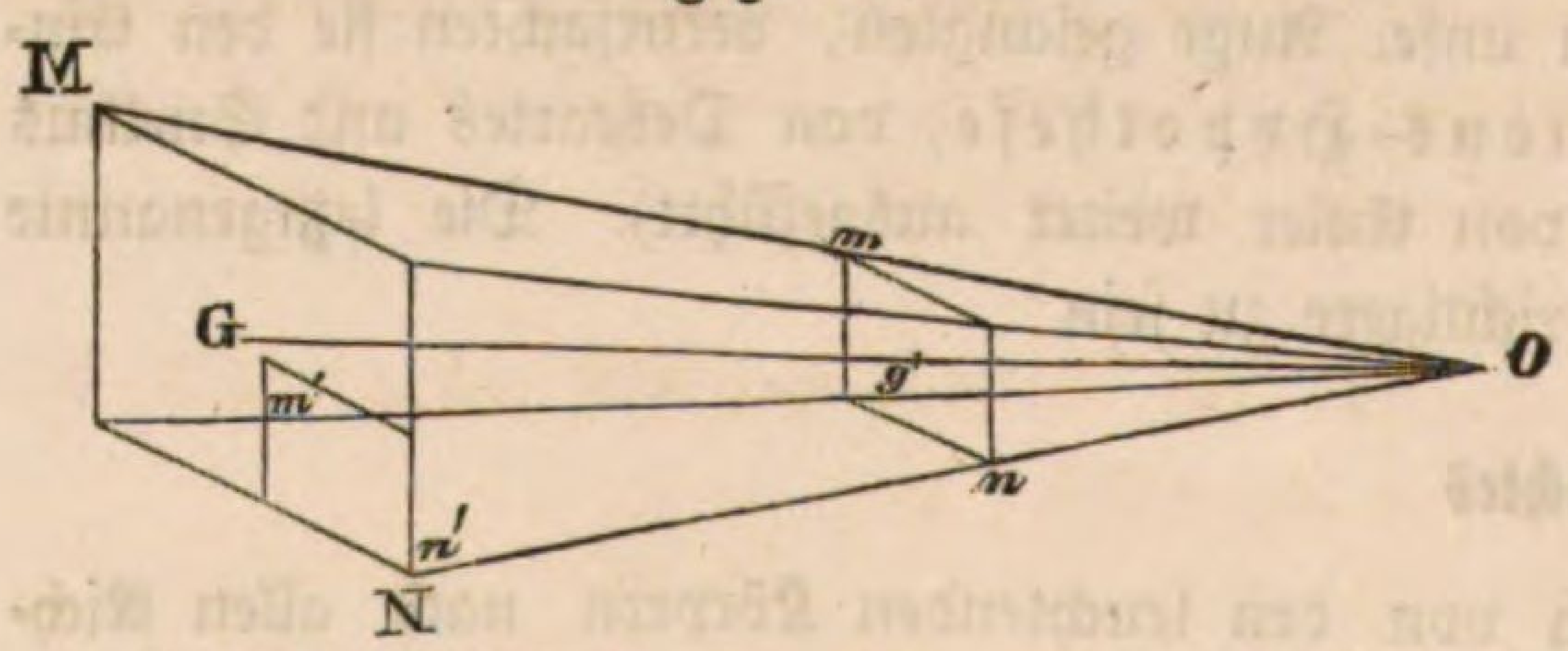


Passirt ein Lichtstrahl BO (Fig. 74.) aus einem durchsichtigen Medium ein anderes, ebenfalls durchsichtiges von größerer Dichte, so wird er gebrochen und zwar dem Einfallslothe AP genähert, so daß er jetzt die Richtung OC einschlägt. Diese behält er so lange bei, als sich die Dichte des Mediums nicht ändert.

3. Intensität der Beleuchtung.

a. Die Stärke der Beleuchtung einer Fläche nimmt im Verhältniß des Quadrates der Entfernung, in welcher die Fläche von dem leuchtenden Punkte sich befindet, ab.

Fig. 75.



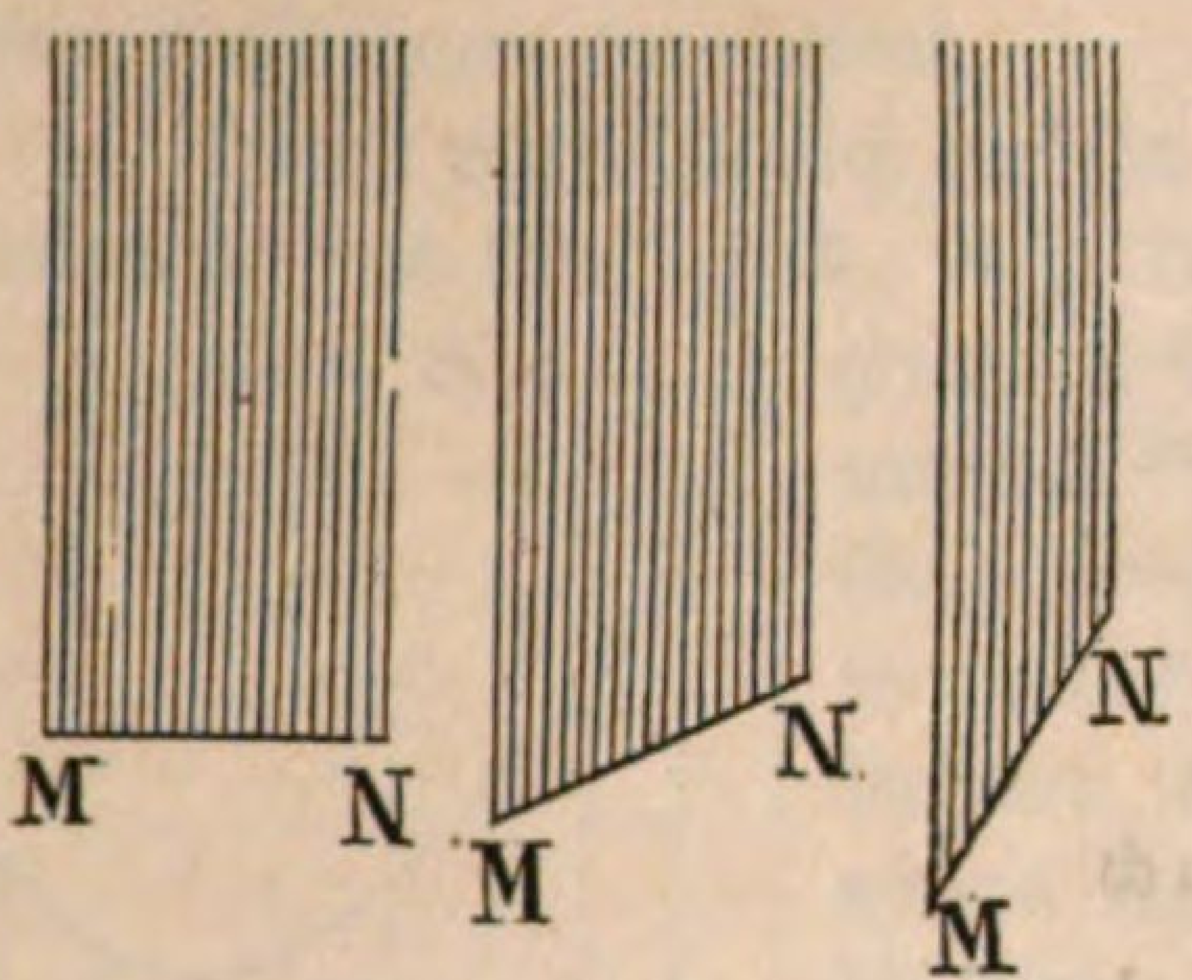
Es sei in O (Fig. 28) die Lichtquelle, von ihr gehe eine bestimmte Menge Licht aus. Die Fläche MN erhält im Ganzen ebensoviel Licht, als mn, obgleich sie weiter von O entfernt ist. Allein die Lichtmenge vertheilt sich bei MN über eine größere Fläche, hier fallen also die Lichtstrahlen nicht so nahe neben einander, als auf mn, wodurch nothwendig die Intensität der Beleuchtung vermindert wird. Offenbar geschieht Letzteres in dem Maße, als MN die Fläche mn an Größe übertrifft. Nun verhält sich nach einem bekannten Satze der Elementargeometrie.

$$Og^2 : OG^2 = mn : MN.$$

Aus dieser Proportion folgt unmittelbar der Beweis des obigen Satzes, denn was für die ganze Fläche MN gilt, bezieht sich auch auf jeden Theil derselben. Wir können auf MN ein Stückchen = m'n' = mn abgrenzen; die Beleuchtungsintensitäten von m'n' und mn verhalten sich daher, wie die Quadrate ihrer Entfernungen vom Punkte O.

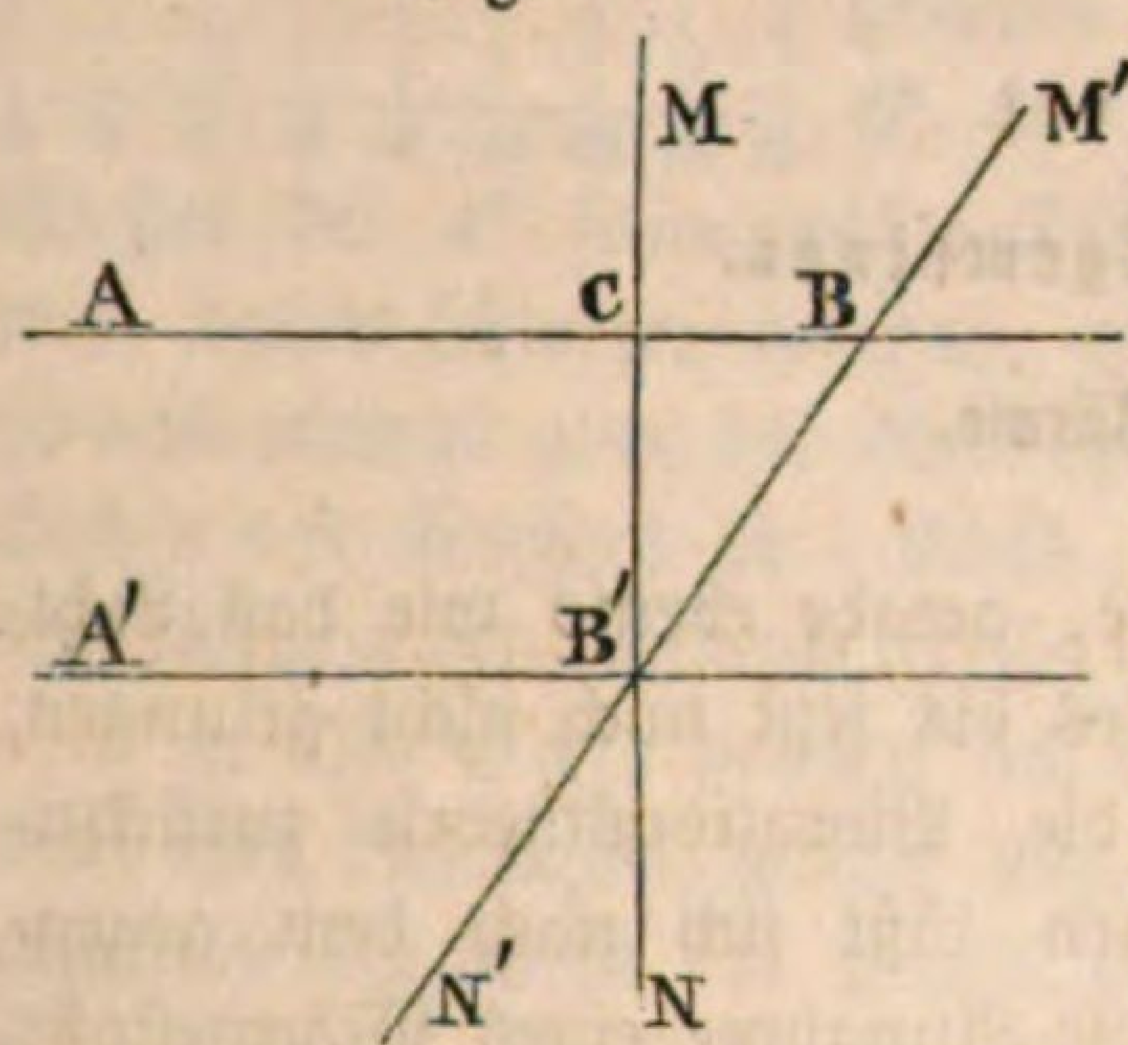
b. **Die Stärke der Beleuchtung einer Fläche ist dem Sinus des Winkels proportional, unter welchem die einfallenden Lichtstrahlen die Fläche treffen.**

76. 77. 78.



Daß um so weniger Lichtstrahlen auf eine gegebene Fläche MN auffallen, je schiefer dieselbe gegen die Strahlen gerichtet ist, ergeben die Figuren 76, 77, 78. Das Maß, in welchem die Beleuchtungsstärke abnimmt, ergibt sich aus Folgendem:

Fig. 79.



Es sei B' C (Fig. 79) ein Stückchen der Fläche MN, so klein, daß die Lichtstrahlen A C, A' B', welche dasselbe treffen, als parallel betrachtet werden können. Wird die Fläche MN um den Punkt B' gedreht, so daß sie nun die Lage M' N' einnimmt, so fällt dieselbe Lichtmenge, welche früher dem Flächenstück B' C' zu Theil wurde, auf die Fläche BB'. Die Intensität der Beleuchtung vom BB' ist darum kleiner, als diejenige vom B'C' weil BB' größer, als B'C ist. Es verhält sich

$$BB' : B'C = 1 : \sin. CBB'$$
$$= 1 : \sin. A'B'N',$$

weil $\measuredangle\ C\ BB' = \measuredangle\ A'B'N'$ ist.

Bezeichnen wir daher die Beleuchtungsstärke von B'C mit a, so ist die Beleuchtungsstärke von $BB' = a \sin A'B'N'$, w. z. b. w.

Fünftes Buch.

Wärme.

Erster Abschnitt.

Von der Wärme im Allgemeinen.

1. Theoretische Ansicht über das Wesen der Wärme.

Höchst wahrscheinlich beruht die Wärme, gerade ebenso wie das Licht, in den Schwingungen eines Aethers, doch ist es bis jetzt noch nicht gelungen, sämmtliche Phänomene der Wärme auf die Vibrationstheorie zurückzuführen. Eine große Zahl dieser Erscheinungen läßt sich nach dem gegenwärtigen Stand der Wissenschaft nur durch die Annahme eines Wärmestoffs erklären. Man denkt sich unter diesem eine ätherartige höchst feine, die Körper leicht durchdringende, unsichtbare Materie ohne Gewicht.

2. Ausdehnung der Körper durch die Wärme.

Die Wärme besitzt die charakteristische Eigenschaft, die Körper auszudehnen. Man kann sich vorstellen, der Wärmestoff dringe wie ein Keil zwischen die kleinsten Theilchen (Atome) eines Körpers und treibe sie auseinander. Nimmt die Wärme ab, wird der Körper kälter, so verläßt ihn ein Theil des Wärmestoffs, die Atome nähern sich einander wieder und das Volumen des Körpers vermindert sich.

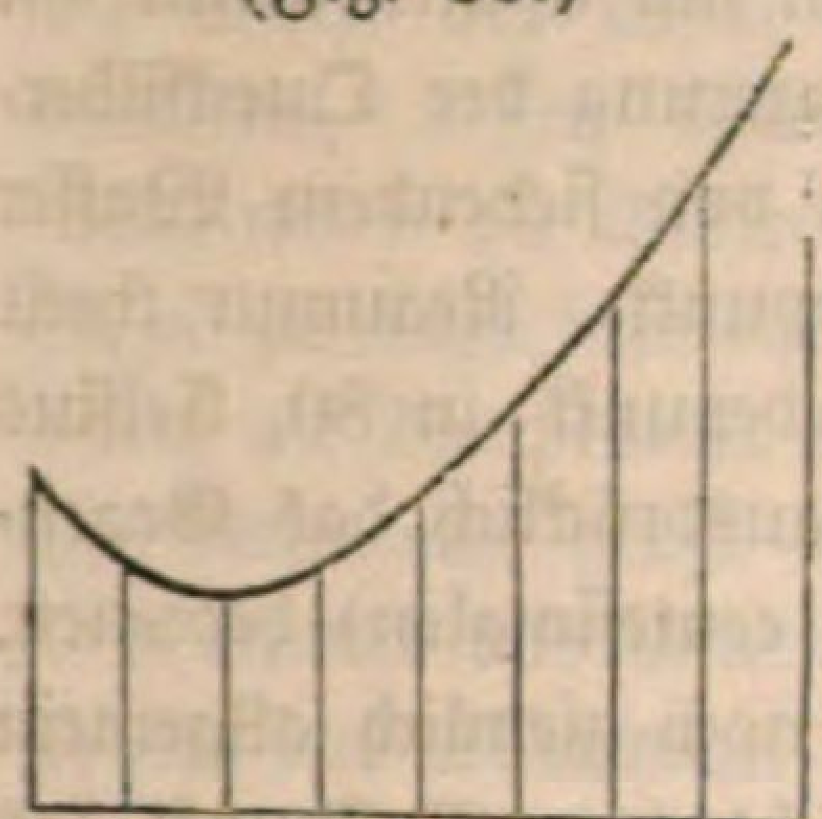
Es ist schon früher (S. 48.) nachgewiesen worden, daß der Koefficient für die kubische Ausdehnung, welche ein Körper durch Erwärmung erleidet, dreimal so groß ist, als derjenige für die lineare Ausdehnung.

a. Feste Körper dehnen sich nur von 0° bis zu 100° regelmäßig aus; über 100° hinaus verändert sich der Ausdehnungscoefficient fortwährend. Krystalle, welche nicht dem regulären System angehören, zeigen aber schon unter 100° eine ungleichförmige Ausdehnung nach ihren verschiedenen Axen.

b. Flüssigkeiten zeigen hinsichtlich ihrer Ausdehnung durch die Wärme ein noch viel unregelmäßigeres Verhalten, als feste Körper. Doch finden auch hier Verschiedenheiten, je nach der Natur der Flüssigkeiten, statt. Quecksilber dehnt sich nur zwischen 0° und 100° gleichmäßig aus; über 100° wächst sein Ausdehnungscoefficient.

Höchst eigenthümlich und in klimatologischer Hinsicht wichtig ist die Ausdehnung des Wassers. Wir haben sie in der nebenanstehenden Figur 80 graphisch dargestellt. Die Abscissen bedeuten die Temperaturen, die Ordinaten geben die Länge einer Wassersäule zwischen 0° und 16° an. Man sieht, daß Wasser von 0° Temperatur stärker ausgedehnt ist, als Wasser von 4°, der Ausdehnungscoefficient des Wassers nimmt also von 0° bis 4° (genau 4°,108) ab. Da die Dichte eines Körpers sich vermindert, wenn er ausgedehnt wird, und die Ausdehnung des Wassers bei 4° am kleinsten ist, so geht hieraus hervor, daß das Wasser bei 4° seine größte Dichte erreicht. Ein Kubikfuß ꝛc. Wasser von 4° wird daher schwerer wiegen, als ein Kubikfuß ꝛc. Wasser von 0°. Ueber 4° hinaus nimmt aber der Ausdehnungscoefficient wieder zu, und somit auch die Dichte des Wassers ab. Nahe bei 8° hat es beinahe dieselbe Dichte, als bei 0°. Gegen den Siedepunkt hin wächst der Ausdehnungscoefficient des Wassers.

(Fig. 80.)



c. Die Gase dehnen sich bei gleicher Temperaturzunahme fast gleichmäßig aus; nur diejenigen, welche sich zu Flüssigkeiten verdichten lassen (die Dämpfe) zeigen in der Nähe des Punktes, wo sie ihren Aggregatzustand ändern, einige Irregularität. Im Mittel kann als Ausdehnungscoefficient der Gase die Zahl $0{,}00366 = \frac{1}{273}$ genommen werden. Wenn die Temperatur eines Gases in einer arithmetischen Reihe zunimmt, so wächst sein Volum nach demselben Gesetz, also gleichfalls in arithmetischer, und nicht in geometrischer Progression. Will man den Raum v′ bestimmen, welchen ein Gas, dessen Temperatur t° und dessen Volum v beträgt, bei der Temperatur t′° einnehmen wird, so muß dies nach der Proportion:

$$273 + t : 273 + t' = v : v', \text{ aus welcher}$$

$$v' = v\left(\frac{273 + t'}{273 + t}\right) \text{ folgt,}$$

geschehen.

3. Thermometer.

Vorrichtungen, welche dazu dienen, um Temperaturen zu bestimmen, nennt man Thermometer. Da die Körper, wenn sie erwärmt werden, sich ausdehnen, so kann das Maß der Volumsvermehrung zur Beurtheilung der Temperaturerhöhung dienen. Uebrigens eignen sich nur diejenigen Sub-

stanzen zweckmäßig zu Thermometern, deren Volumen gleichmäßig mit der Temperatur wächst, wie dies z. B. bei dem Quecksilber zwischen dem Gefrierpunkt und dem Siedepunkt des Wassers der Fall ist.

Das Quecksilberthermometer besteht aus einer mit Quecksilber gefüllten oben geschlossenen, unten mit einer kugelförmigen Ausbauchung versehenen Röhre, welche an allen Punkten gleiche Weite besitzt (genau calibrirt ist.) Es hat zwei feste Punkte. Den einen erhält man, wenn das Instrument in schmelzendes Eis eingetaucht wird; man bezeichnet ihn mit 0 und nennt ihn den Gefrierpunkt. Den andern Punkt gibt die Verlängerung der Quecksilbersäule an, wenn man das Thermometer den Dämpfen von siedendem Wasser aussetzt. Diesen letzten Punkt nennt man den Siedepunkt. Reaumur theilt das Intervall zwischen dem Gefrierpunkt und dem Siedepunkt in 80, Celsius in 100 Grade. Wir werden uns stets, wenn nicht ausdrücklich das Gegentheil bemerkt wird, der Celsius'schen Eintheilung (der centesimalen) bedienen. In England ist das ältere Fahrenheit'sche Thermometer noch ziemlich allgemein im Gebrauch. Der 32. Theilstrich seiner Scale entspricht dem Nullpunkt des Reaumur'schen und des Celsius'schen Thermometers. Der Nullpunkt des Thermometers von Fahrenheit liegt 32° unter dem Gefrierpunkt; er wurde durch Eintauchen des Instruments in eine Mischung von Schnee und Salmiak bestimmt. Zwischen dem Nullpunkte und dem Siedepunkte liegen bei Fahrenheits Thermometer 212 Grade. Zur Reduction der Angaben dieser drei Thermometer dienen folgende Gleichungen

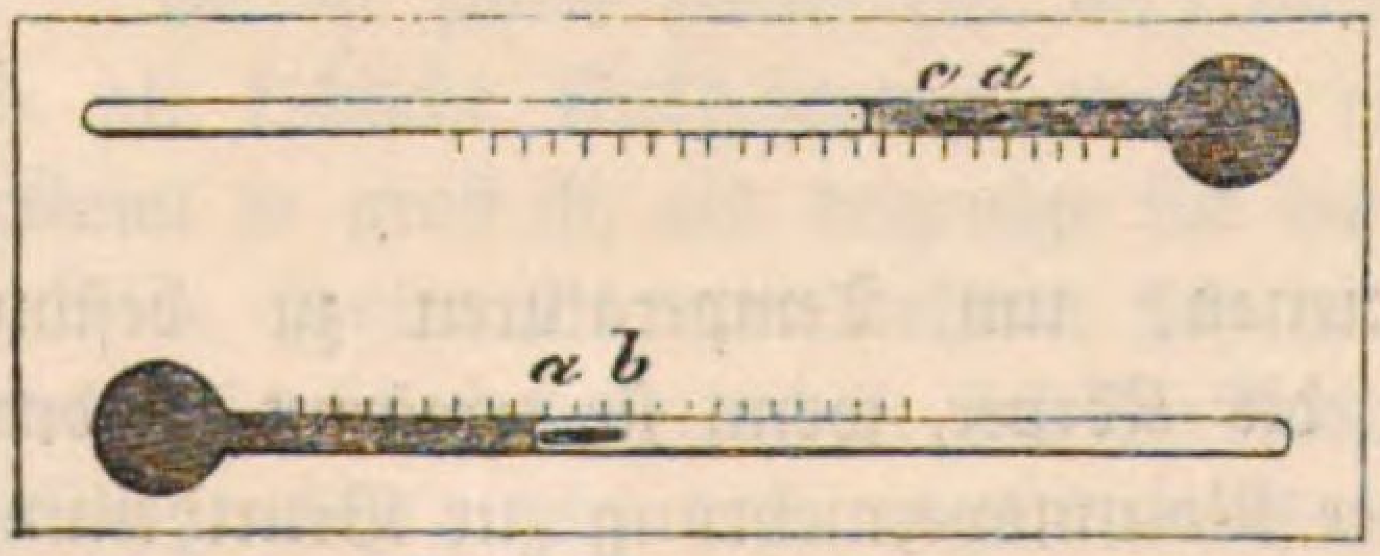
$$n^0\ C = \tfrac{4}{5}\ n^0\ R = (32 + \tfrac{9}{5}\ n)^0\ F;$$
$$n^0\ R = \tfrac{5}{4}\ n^0\ C = (32 + \tfrac{9}{4}\ n)^0\ F;$$
$$n^0\ F = \tfrac{4}{9}\ (n - 32)^0\ R = \tfrac{5}{9}\ (n - 32)^0\ C.$$

Da das Quecksilber bei — 45° C erstarrt, so kann das Quecksilberthermometer nur bis etwa 40° benutzt werden, für Temperaturen unter 40° nimmt man ein Weingeistthermometer.

4. Thermometrograph.

So heißt ein Instrument, welches die Bestimmung der höchsten und niedrigsten Temperatur während eines gewissen Zeitabschnitts dadurch erleichtert, daß auf ihm das Maximum sowohl, als auch das Minimum fixirt bleiben.

Fig. 14.



Für meteorologische Beobachtungen, empfiehlt sich der folgende Thermometrograph (Fig. 14.)

Zwei Thermometer sind auf eine Platte aufgeheftet. Das eine, zur Erforschung des Maximums bestimmt ist mit Quecksilber gefüllt. Am Ende der Quecksilbersäule befindet sich ein kleiner eiserner Cylinder a b (ein Stückchen

Eisendraht). Wenn die Temperatur sich erhöht, so steigt das Quecksilber in der Röhre und schiebt den Eisen-Cylinder vor sich her. Nimmt die Temperatur wieder ab, so tritt das Quecksilber, indem es sich zusammenzieht, nach der Kugel hin zurück, nimmt aber den Eisendraht nicht mit sich, weil Eisen keine Adhäsion an Quecksilber besitzt. Der Eisen-Cylinder wird demnach an dem Orte des Temperaturmaximums liegen bleiben.

In dem zweiten Thermometer befindet sich Weingeist anstatt Quecksilber. Die Stelle des Eisen-Cylinders wird hier von einem Glasstäbchen c d eingenommen, dessen beide Enden mit Knöpfchen versehen sind. Das Stäbchen bleibt, wenn die Temperatur sinkt, so lange liegen, bis der Weingeist das der Kugel zunächst befindliche Knöpfchen d erreicht hat. Jetzt wird das Stäbchen, wenn die Temperatur noch weiter sich erniedrigt, vom Weingeist nachgezogen, weil dieser eine große Adhäsion zu Glas besitzt. Steigt die Temperatur wieder, so verändert das Glasstäbchen doch nicht seinen Ort. Letzterer bezeichnet deswegen das Minimum der Temperatur.

Um den Thermometrographen zu neuem Gebrauche herzurichten, neigt man ihn auf die linke Seite; es fällt alsdann der Eisen-Cylinder auf das Ende der Quecksilbersäule und das Glasstäbchen kommt an das Ende der Weingeistsäule zu liegen.

5. Specifische Wärme und Wärmecapacität.

Um die Temperatur verschiedener Körper um eine gewisse Anzahl Grade zu erhöhen, bedarf man ungleiche Wärmemengen, z. B. für Wasser 30mal so viel, als für Quecksilber. Man sagt deshalb, das Wasser habe eine größere **Wärmecapacität**, als das Quecksilber. Die Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur irgend einer Substanz um 1° zu vermehren, nennt man ihre **specifische** Wärme. Man bezieht dieselbe auf diejenige des Wassers, indem man die specifische Wärme dieser Flüssigkeit = 1 setzt. Nimmt man also die Wärmemenge, welche einem Pfund, Loth u. s. w. Wasser eine Temperaturerhöhung von 1° verleiht = 1 an, so ist z. B. die specifische Wärme des Quecksilbers für die nämlichen Gewichte $= \frac{1}{30}$.

Braucht man, um die Temperatur von g Gewichtstheilen eines Körpers um t Grade zu erhöhen eine Wärmemenge = m, so ist für ein Gewicht g' desselben Körpers zur Hervorbringung der Temperatur t, eine Wärmemenge $m' = \frac{m.\, g'}{g}$ nöthig. Ist die Wärmecapacität des Körpers unveränderlich und soll seine Temperatur auf t' gebracht werden, so bewirkt Letzteres eine Wärmemenge $m'' = \frac{m\, g'\, t'}{g\, t}$

Bei den meisten Körpern ändert sich die Wärmecapacität mit der Temperatur; so beträgt z. B. die specifische Wärme des Platins zwischen 0° und

100° = 0,03350, zwischen 0° und 300° = 0,0355. Die specifische Wärme des Wassers bleibt für die Temperaturen von 1—20° constant, von 20—100° ist sie = 1,0127.

Um die Wärmecapacität eines Körpers zu bestimmen, gibt es verschiedene Methoden. Eine von diesen besteht darin, daß man den Körper, dessen Gewicht g und Temperatur t bekannt sein muß, mit einem Gewicht g′ Wasser von der Temperatur t′ zusammenbringt und die Mitteltemperatur T der Mischung oder Mengung untersucht. Aus dieser läßt sich dann die specifische Wärme jenes Körpers herleiten. Kommt letzterer nämlich mit dem Wasser in Berührung, so gibt er an dasselbe Wärme ab oder nimmt solche auf, je nachdem seine Temperatur höher oder niedriger, als diejenige des Wassers ist. Die Temperaturen gleichen sich auf diese Weise aus. Nehmen wir an, daß während des Versuchs keine Wärme verloren gegangen sei, so muß die Wärmesumme nach erfolgter Ausgleichung der verschiedenen Temperaturen noch die nämliche sein, wie die Wärmesummen der beiden Substanzen vor dem Versuche. Bezeichnen wir die specifische Wärme des Wassers, wie üblich, mit 1, diejenige des fraglichen Körpers mit s, so ist

$$T\,(g s + g'.\,1) = g t s + g' t'.\,1\text{; hieraus}$$

$$s = \frac{g'\,(t' - T)}{g\,(T - t)}$$

Hätte man z. B. 10 Pfund Wasser von 20° mit 2 Pfund Quecksilber von 80° gemengt und als Ausgleichungstemperatur 20°,397 beobachtet, so wäre, wenn man diese Werthe in obige Formel einführt

$$s = 10\;\frac{(20 - 20{,}397)}{2\,(20{,}397 - 80)} = 0{,}033$$ die specifische Wärme des Quecksilbers.

Will man die Wärmecapacität eines Gases bestimmen, so kann man entweder annehmen, sein Volumen werde durch einen mit der Temperatur wachsenden Druck auf einerlei Niveau erhalten, oder es laste auf ihm ein constanter Druck, welcher dem Gase gestattet, sich auszudehnen. In letzterem Falle hat die Wärmecapacität einen höheren Werth, als in ersterem, weil zur Volumsvermehrung an und für sich Wärme erforderlich ist.

6. Latente Wärme.

Wenn ein Körper aus dem festen Zustand in den flüssigen oder luftförmigen übergeht, so nimmt sein Rauminhalt zu. Die Ausdehnung erfolgt hier durch Wärmeaufnahme. Man kann sich die Sache so vorstellen, als wenn der Wärmestoff zwischen die Atome des Körpers eindringe und diese auseinander treibe (2.) Die Wärme also, welche ein Körper absorbirt, wenn er seinen Aggregatzustand ändert, wird dazu verwendet, um die Atome auseinander zu halten. Sie kann durch das Thermometer nicht wahrgenommen werden, und wird deshalb latente Wärme genannt.

Wenn man 1 Pfund zerstoßenes Eis von 0° Temperatur mit 1 Pfund Wasser von 79° (genau 79°¼) mischt, so sollte (nach 5) eine Mitteltemperatur von $\frac{0^\circ + 79^\circ}{2} = 39^\circ,5$ entstehen. Dies ist aber nicht der Fall. Man erhält 2 Pfund Wasser von 0°. Die 79 Wärmeeinheiten, welche das Wasser besaß, wurden daher blos zum Schmelzen des Eises verwandt, und da keine Temperaturerhöhung sich beobachten läßt, so muß man schließen, daß 79 Wärmeeinheiten dazu erforderlich sind, um die festen Theile von 1 Pfund Eis so weit zu lockern, daß sie flüssig werden. Die latente Wärme des Eises ist also = 79. Um 1 Pfund Eis zu schmelzen, braucht man demnach eben so viel Wärme, als um einem Pfund Wasser von 0° eine Temperatur von 79° zu ertheilen.

Wird eine gewisse Quantität Wasser längere Zeit auf dem Siedepunkt erhalten, so verwandelt sich nach und nach alle Flüssigkeit in Dampf, dessen Temperatur indessen nicht mehr als 100° beträgt. Wohin kommt die Wärme, welche die Dampferzeugung erfordert? Sie wird dazu verwendet, um das größere Volum, welches der Dampf einnimmt, herzustellen. Diese Wärmemenge (die latente Wärme des siedendheißen Wasserdampfes) ist so groß, daß man mit derselben das gleiche Gewicht Wasser von 0° auf 536° erwärmen könnte. Das Wasser verdunstet auch bei Temperaturen unter 100°, ja selbst das Eis verdunstet; die Dämpfe entweichen mit der Temperatur, welche das Wasser oder Eis besitzt, aus dem sie sich gebildet haben. Indessen bleibt sich die latente Wärme für Dämpfe von verschiedenen Temperaturen nicht gleich; um z. B. 1 Kilogr. Wasser von 50° in Dampf von 50° zu verwandeln, ist so viel Wärme nöthig, als um 1 Kilogr. Wasser von 0° auf die Temperatur von 572° zu bringen. Nachstehend theilen wir die latente Wärme des Wasserdampfes für die Temperaturen von 0° bis 200° mit.

Temperatur.	Latente Wärme des Dampfes.
0°	606
50°	572
100°	536
150°	501
200°	464

7. Fortpflanzung der Wärme.

Die Wärme kann von einem Körper auf den andern in zweifacher Weise übergehen, nämlich durch Leitung und durch Strahlung.

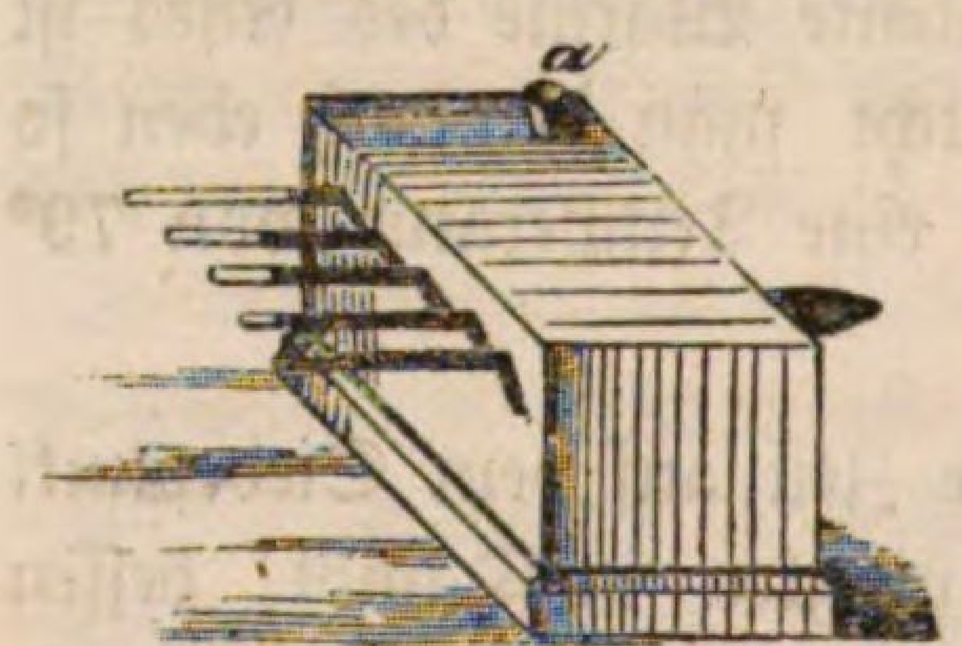
a. Leitung der Wärme.

Wird ein Körper an irgend einer Stelle erwärmt, so überträgt sich die Wärme von einem Theilchen zum andern durch Leitung. Man kann sich

denken, der Wärmestoff verbreite sich in den leeren Räumen zwischen den Atomen. Pflanzt sich innerhalb der Theile eines Körpers die Wärme in weite Entfernung von der erwärmten Stelle fort, so nennt man diesen Körper einen guten Leiter, wie z. B. die Metalle. Schlechter leiten schon die Steine uud Erden, Holz; zu den schlechtesten Leitern gehören Wolle, Seide, Stroh, trockenes Laub und Moos.

Zur Prüfung der Wärmeleitungsfähigkeit bediente sich Ingenhouß des neben verzeichneten Apparates. In einem Kasten, welcher durch die Oeffnung a mit heißem Wasser gefüllt werden kann, sind von verschiedenen Körpern angefertigte Stäbe eingelassen, deren Oberflächen man mit Wachs überzogen hat. Nachdem das Wasser eingefüllt ist, erwärmen sich die Enden der Stäbe, welche in das Wasser hineinragen; die Wärme pflanzt sich nach der Richtung der Enden um so weiter fort, je besser die Stäbe die Wärme leiten. Dabei ergeben sich genaue Verhältnißzahlen für die Wärmeleitungsfähigkeit der verschiedenen Stäbe, wenn man die Länge mißt, bis zu welcher das Wachs abgeschmolzen ist. Gesetzt, es seien die Stäbe von Silber, Kupfer, Eisen, Porzellan und Holz, so wird man finden, daß das Wachs am weitesten an dem Silberstab, schon etwas weniger an dem Kupferstab, noch weniger am Eisen, dann am Porzellan, und am allerwenigsten am Holz abschmilzt. In Bezug auf ihre Wärmeleitungsfähigkeit folgen sich also diese vier Substanzen in der nämlichen Ordnung in welcher wir sie vorhin aufgeführt haben.

Fig. 81.



Flüssigkeiten und Gase leiten die Wärme sehr schlecht. Trotzdem verbreitet sich in ihnen die Wärme ziemlich rasch von einer Stelle zur andern. Dies rührt aber blos daher, weil die Theilchen der Flüssigkeiten und Gase sehr leicht verschiebbar sind, weshalb die durch Erwärmung leichter gewordenen Schichten in die Höhe steigen. Diesen Vorgang sieht man sehr schön, wenn in einem Glasgefäße Wasser, in welches man Sägespähne geworfen hat, erhitzt wird. Die Spähne tauchen dann vom Boden des Gefäßes in die Höhe bis an die Oberfläche des Wasserspiegels.

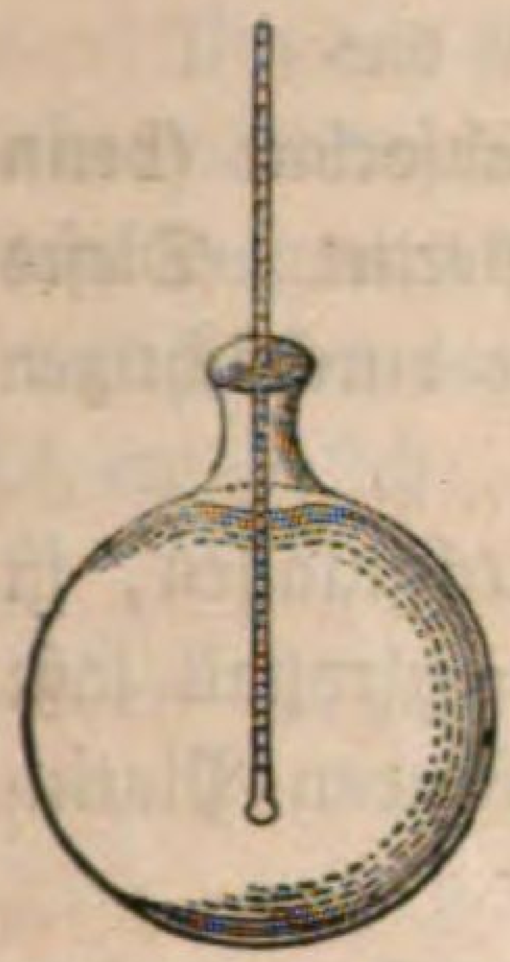
Wasser leitet die Wärme viel besser, als trockene Luft. Die Wärmeleitungsfähigkeit der letzteren nimmt daher zu, wenn sie mit Wasserbläschen beladen ist, wie z. B. bei starkem Nebel.

b. Wärmestrahlung.

Die Wärme kann sich von einem Körper auf den andern direkt übertragen, ohne daß ein zwischen diesen Körpern befindliches Mittel die Leitung

übernimmt. Wenn man z. B. in eine luftleer gemachte Glaskugel (Fig. 82.) ein Thermometer versenkt, welches oben von den Glaswänden fest umschlossen ist, und dann die untere Fläche der Kugel durch heißes Wasser erwärmt, so bemerkt man, daß das Quecksilber im Thermometer steigt. Die Erwärmung kann aber hier nicht durch Leitung des Glases an der Stelle, wo es das Thermometer berührt, bewirkt worden sein, denn letzteres zeigt eine höhere Temperatur, als das Glas an der Verbindungsstelle. Man sagt in dem oben angegebenen Falle, die Wärme habe sich durch Strahlung fortgepflanzt und bezeichnet mit dem Ausdruck „Wärmestrahl" die Richtung von dem erwärmten Körper zu der Wärmequelle.

Fig. 82.



Die Fortpflanzung der Wärme durch Strahlung geht viel rascher von Statten, als diejenige durch Leitung. Wenn man in einiger Entfernung von einem heißen Ofen ein Thermometer anbringt, so steigt dessen Temperatur viel höher, als die Temperatur der Luft, welche den Ofen umgibt; hiervon kann man sich leicht überzeugen, indem man plötzlich einen Schirm vor den Ofen stellt und vor diesem die Temperatur der Luft bestimmt. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Wärmestrahlen die nämliche Geschwindigkeit, wie das Licht besitzen, welches 70000 Meilen in einer Secunde durchläuft.

Die Erscheinungen der strahlenden Wärme haben Vieles mit denen des Lichtes gemeinsam. So unter Anderm:

Daß die Intensität der Erwärmung einer Fläche im Verhältniß des Quadrates der Entfernung, in welcher die Fläche von der Wärmequelle sich befindet, abnimmt.

Daß der Einfallswinkel der Wärmestrahlen dem Reflexionswinkel gleich ist.

Daß die Stärke der Erwärmung einer Fläche dem Sinus des Winkels proportional ist, unter welchem die einfallenden Wärmestrahlen die Fläche treffen.

Die Wärmestrahlen, welche einen Körper treffen, werden entweder

α. durchgelassen. Substanzen, welche diese Eigenschaft besitzen, nennt man diathermane, im Gegensatz zu den athermanen, denen sie fehlt. Der diathermanste Körper ist das Steinsalz. Doch läßt es nicht sämmtliche Wärmestrahlen passiren. Man fand, daß von 100 Theilen der aufgefallenen Wärme durchgehen ließen:

Steinsalz	92	Theile
Flußspath	78	„
Kalkspath	39	„
Glas	39	„
Bergkrystall	38	„
Gyps	14	„

Alaun	9	Theile.
Glimmer	20	„
Eis	6	„

Die noch übrigen 8 Theile werden vom Steinsalz nicht absorbirt (denn es tritt keine merkliche Erwärmung desselben ein), sondern reflectirt. Dieses Mineral verhält sich demnach gegen die Wärme ebenso, wie die durchsichtigen Körper gegen das Licht.

Die Diathermansie oder die Fähigkeit, Wärmestrahlen durchzulassen, ist übrigens nach der Natur der Wärmequellen verschieden. Bergkrystall läßt von den Strahlen einer Lampe 38 %, von denen eines glühenden Platindrahtes nur 28 % passiren.

β. Reflectirt. Die athermanen Körper werfen um so mehr von den aufgefallenen Wärmestrahlen zurück, je glätter ihre Oberfläche ist, während bei den diathermanen Substanzen die Politur das Durchgehen der Wärmestrahlen erleichtert. Stellt man zwei metallene Hohlspiegel einander gegenüber und bringt man in den Brennpunkt des einen eine glühende Kohle, so entzündet sich ein Stück Zucker in dem andern Brennpunkt, während die Spiegel nur unmerklich erwärmt werden. Bei rauhen Oberflächen findet, gerade wie beim Licht, eine Diffusion der Wärmestrahlen statt; d. h. diese werden nach allen Seiten hin unregelmäßig zerstreut.

γ. Absorbirt. Diejenigen Wärmestrahlen, welche bei ihrem Auffallen auf irgend eine Substanz nicht durchgelassen oder reflectirt werden, dienen zur Erwärmung der Substanz und werden somit absorbirt. Es ist klar, daß solche Körper, welche ein großes Reflexionsvermögen haben, die Fähigkeit der Absorption in geringerem Maße besitzen; bei den athermanen Substanzen ergänzen sich diese beiden Fähigkeiten zu 1; d. h. wenn eine Wärmemenge = 1 auf einen Körper auffällt, so ist die reflectirte Wärmesumme + der absorbirten = 1. Dies ergeben auch folgende durch Versuche ausgemittelte Verhältnißzahlen

	Reflexionsvermögen.	Absorptionsvermögen.
Messing	100	0
Silber	90	10
Zinn	80	20
Stahl	70	30
Blei	60	40
Kienruß	0	100

Die absorbirte Wärme bleibt nicht in den Körpern, sondern wird wieder ausgestrahlt, wenn die Umgebung eine niedrigere Temperatur besitzt. Das Ausstrahlungsvermögen ist dem Absorptionsvermögen proportional. Diejenigen Körper also, welche viele Wärme verschlucken, geben dieselbe auch eben so leicht ab. Dichte Körper besitzen das Ausstrahlungsvermögen in geringerem Grade, als minder dichte. Wird die Oberfläche eines Körpers

geritzt und dadurch seine Festigkeit vermindert, so strahlt er die Wärme besser aus, als vorher.

Um das Ausstrahlungsvermögen verschiedener Substanzen zu messen, überzieht man die Seiten eines hohlen Metallwürfels, mit einer dünnen Schicht derselben; nun füllt man kochendes Wasser in den Würfel und beobachtet mit einem Thermometer die Temperatur in gleichem Abstand von jeder Seitenfläche. Es ergab sich

für Kienruß	das Ausstrahlungsvermögen	=	100
„ Bleiweiß	„ „	=	100
„ Hausenblase	„ „	=	91
„ Tusche	„ „	=	85
„ Gummilack	„ „	=	72
„ blankes Metall	„ „	=	12

Die grünen Blätter der Gewächse sind vorzugsweise zur Absorption der Wärmestrahlen disponirt; eben so leicht emittiren sie aber auch die aufgenommene Wärme.

Auch die Wärmestrahlen werden, wenn sie Media von verschiedener Dichte zu passiren haben, gebrochen.

8. **Erkalten**.

Gibt ein erwärmter Körper an seine kältere Umgebung Wärme ab, so geschieht dies theils durch Leitung, theils durch Strahlung. Newton war der Ansicht, daß die Wärmemenge, welche in einer bestimmten Zeit entbunden wird, der Temperaturdifferenz zwischen dem erwärmten Körper und seiner Umgebung direct proportional sei. Dulong und Petit fanden das Gesetz nur bis 40°—50° bestätigt. Ueber diese Grenze hinaus geht das Erkalten weit schneller von statten.

Bei einer Temperatur von	sinkt das Thermometer in einer Minute um
240°	10°,69
220°	8°,81
200°	7°,40
180°	6°,10
160°	4°,89
140°	3°,88
120°	3°,02
100°	2°,30
80°	1°,74

Zweiter Abschnitt.

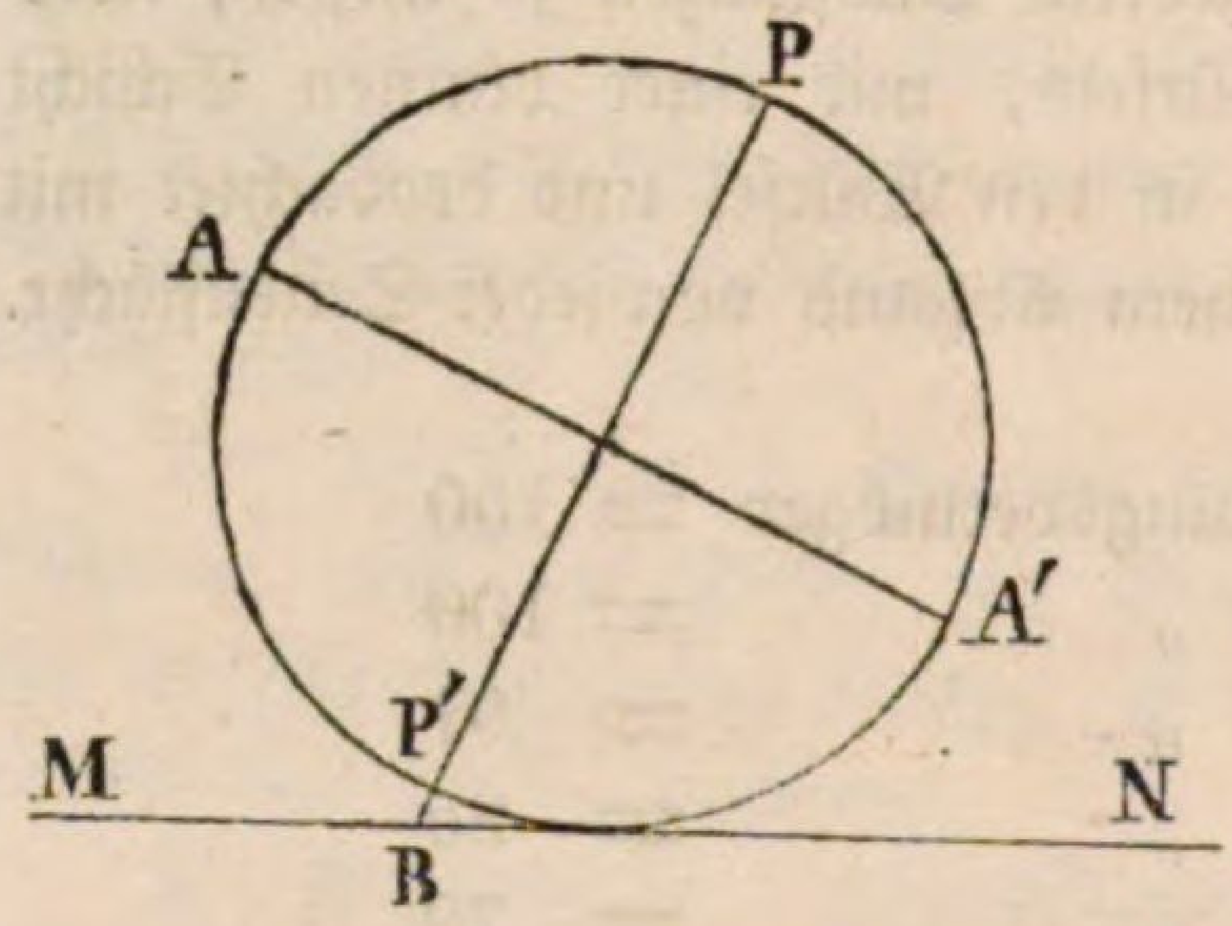
Gang der täglichen Temperatur der Luft.

1. Länge des Tages in den verschiedenen Breiten und Jahreszeiten.

Tag und Nacht entstehen durch die Drehung der Erde um ihre Axe, welche sie in vier und zwanzig Stunden vollendet.

Im Laufe eines Jahres macht die Erde den Weg um die Sonne.

Fig. 83.



Während dieser Zeit ist die Dauer des Tags und der Nacht in unsern Breiten beständigen Veränderungen unterworfen, die hauptsächlich darin ihren Grund haben, daß die Erdaxe PP′ (Fig. 83.) eine schiefe Stellung gegen die Ebene ihrer Umdrehungsbahn MN einnimmt, welche sie während der Dauer des Jahres beibehält. Diese Neigung gibt der Winkel PBN an; seine Größe beträgt gegenwärtig 66°32′.

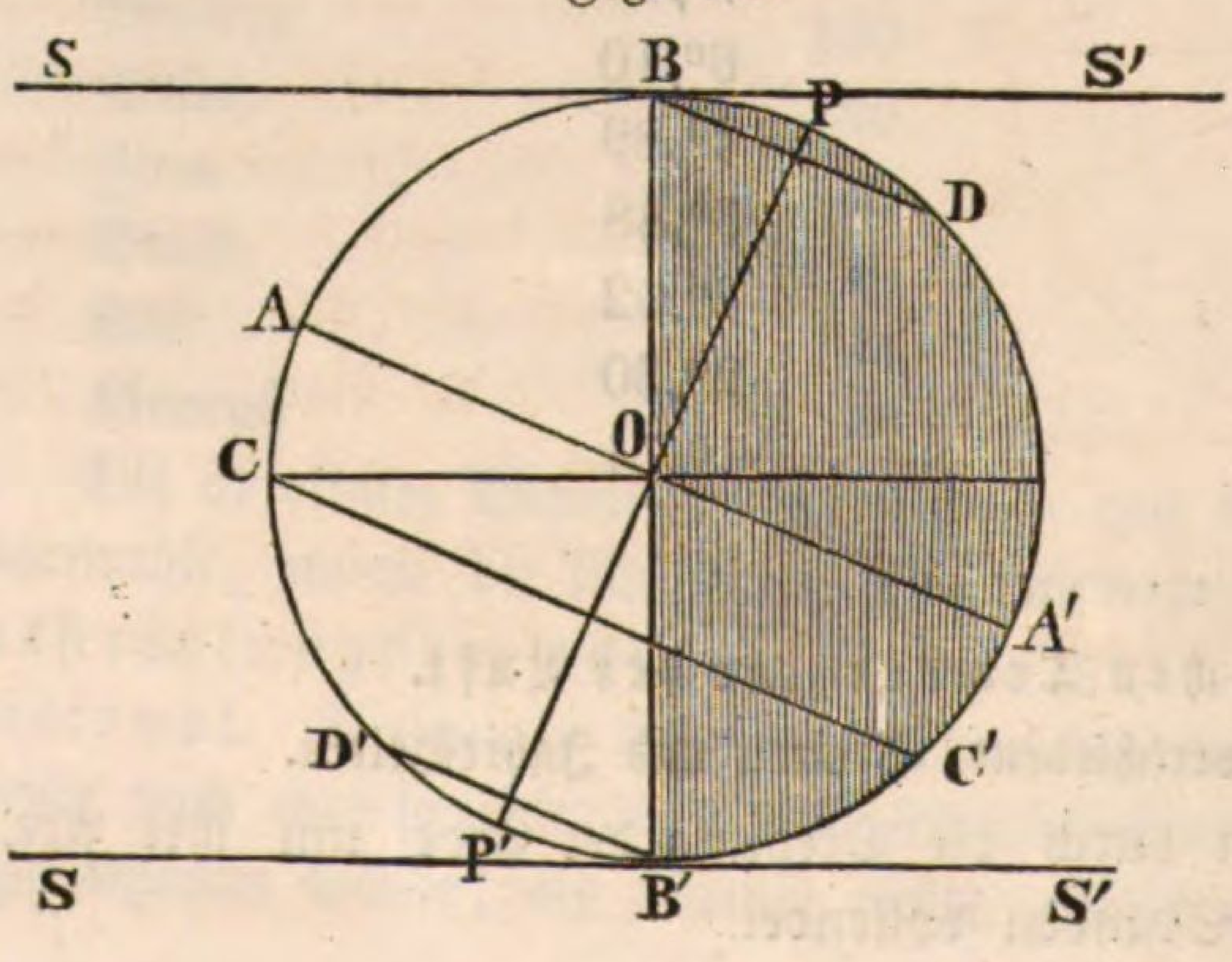
Die Erdbahn bildet eine von der Figur des Kreises wenig abweichende Ellipse, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.

Da die Sonne so sehr weit von der Erde entfernt ist (im Mittel ungefähr 21 Millionen Meilen), so können die Sonnenstrahlen als unter sich und mit der Ebene der Erdbahn parallel angesehen werden. Innerhalb des Laufes eines Jahres werden die Sonnenstrahlen den Aequator zweimal senkrecht treffen, es findet dies am 21. März nnd 23. September statt. Am tiefsten unter dem Aequator steht die Sonne am 23. Dezember, am höchsten den 21. Juni. Durch den Uebergang von einem dieser vier Punkte zu den folgenden werden die Jahreszeiten gebildet. Betrachten wir nun den Stand der Sonne in den vier Jahreszeiten.

a. **Winter.**

Die Erdaxe bildet mit der Ebene der Erdbahn einen Winkel von 66°32′, der Aequator AA′ (Figur 83.) macht daher mit derselben Ebene einen Winkel $= 90^0 - 66^0\ 32' = 23^0 28'$. Da die Sonnenstrahlen parallel mit der Erdbahn einfallen, so bilden auch sie bei dem tiefsten Stand der Sonne (am 23. Dezember) mit dem Aequator einen Winkel von 23°28′.

Fig. 84.



Die Erde kann annäherungsweise für eine Kugel genommen werden; die Sonnenstrahlen bilden einen Cylinder, welcher die Erde in dem größten Kreise BB′ berührt. Alle Punkte der Erde, welche von diesem Kreise nach der Sonne hin gewendet liegen, werden also erhellt sein, während die hinter BB′ befindliche Halbkugel dunkel ist.

Zieht man durch P und P' mit AA' die Parallelen BD und B'D' so grenzen diese zwei Kugelsegmente ab. Das obere wird die nördliche Polar-Zone, das untere die südliche Polar-Zone, BD wird der nördliche, B'D' der südliche Polarkreis genannt.

Aus Fig. 84 ergibt sich, daß die nördliche Polarzone am 23. Dezember 24 Stunden lang Nacht, die südliche Polarzone ebensolange Tag hat. Die Länge des Tags auf der nördlichen Halbkugel ABPDA' ist kleiner, als die der Nacht; dabei nimmt die Tageslänge um so mehr zu, je näher ein Punkt auf der Erdoberfläche an dem Aequator liegt. Auf letzterm (AA') sind Tag und Nacht einander gleich. Vom Aequator an nach dem Südpol P hin nimmt die Tageslänge wieder zu.

Legt man durch den Punkt C, wo die Sonnenstrahlen die Erde rechtwinklich treffen, einen mit der Erdbahn parallen Kreis CC', so ist dieser der Wendekreis des Steinbocks.

Winkel C O B = A O P = 1 R; zieht man von Beiden.
" A O B = A O B ab, so bleibt

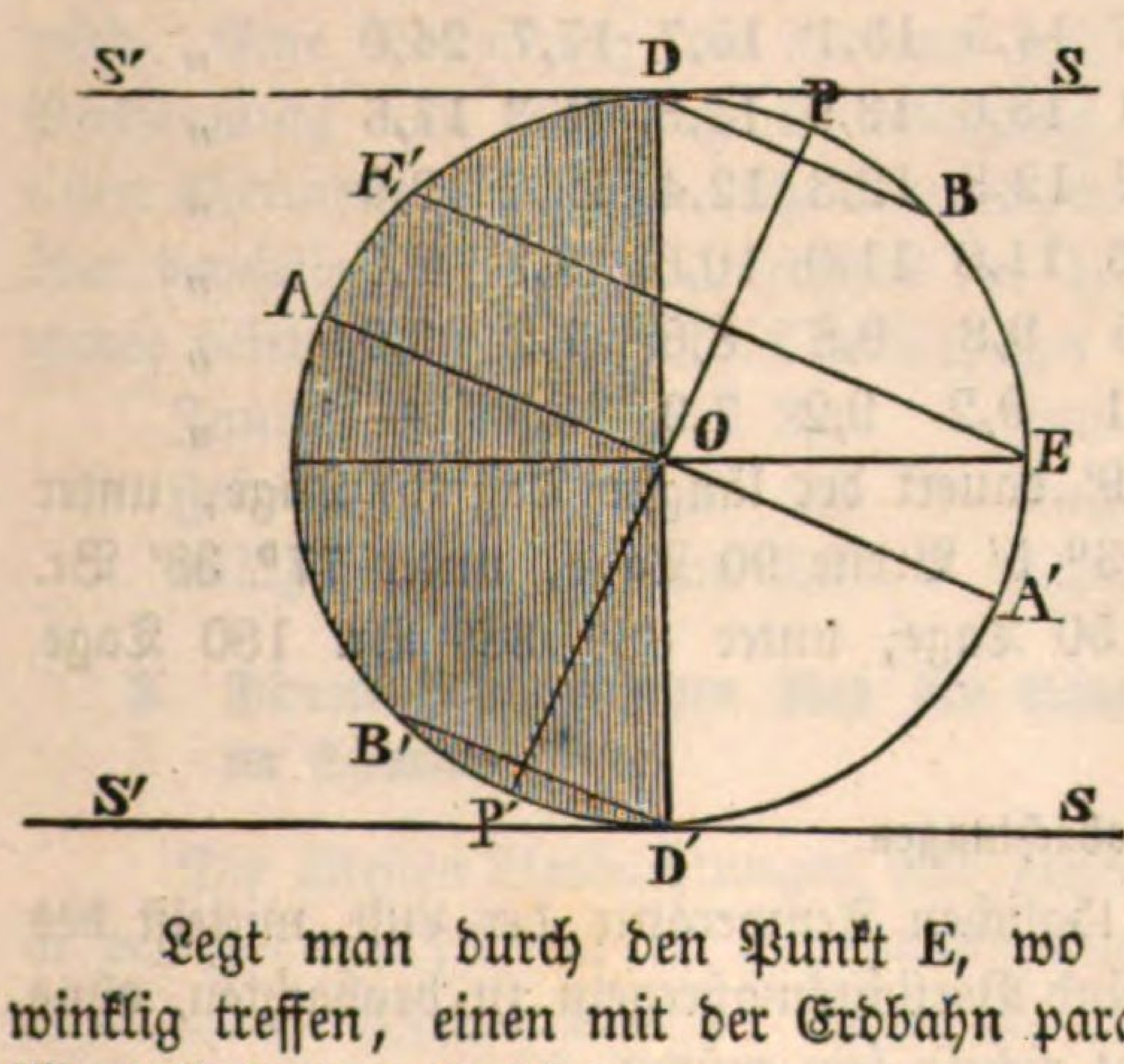
A O C = B O P

Die Entfernnng des Polarkreises BD vom Pol P beträgt demnach 23° 28'. Der Abstand des Polarkreises BD vom Aequator AA' beträgt 90°—23°28' =66° 32'.

b. Sommer.

Am 21. Juni haben wir die entgegengesetzten Verhältnisse vom 23. Dezember, wie Fig. 84. veranschaulicht. Die südliche Polarzone hat an diesem Tage 24 Stunden lang Nacht, die nördliche Polarzone 24 Stunden lang Tag. Auf der nödlichen Halbkugel ist der Tag länger, auf der südlichen dagegen kürzer, als die Nacht. Am Aequator dauert der Tag wieder, wie vorhin, eben so lange, wie die Nacht, also 12 Stunden.

Fig. 84.



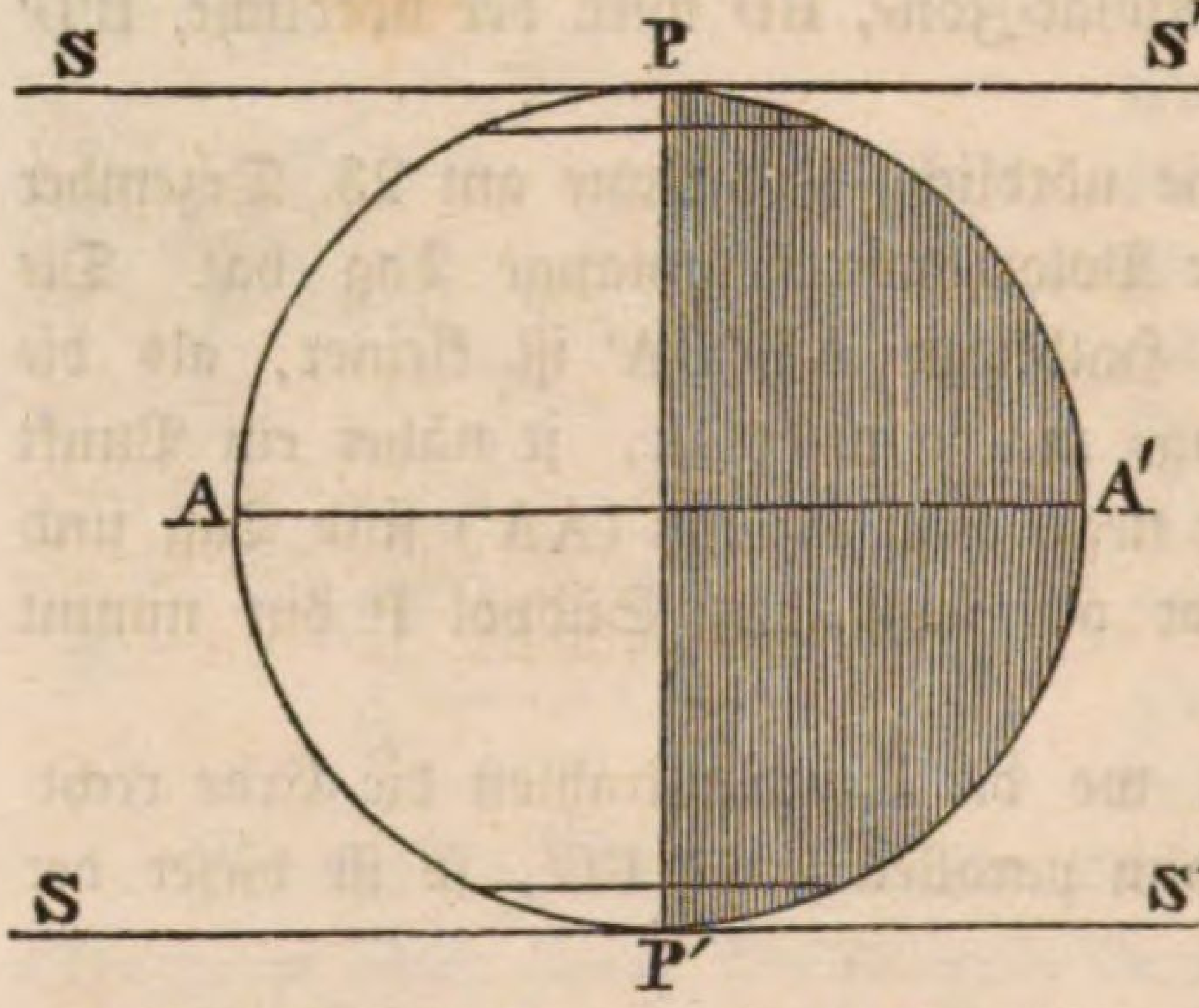
Legt man durch den Punkt E, wo die Sonnenstrahlen die Erde rechtwinklig treffen, einen mit der Erdbahn parallelem Kreis EE', so ist dieser der Wendekreis des Krebses.

c. Herbst und Frühjahr.

Am 23. September und am 21. März fallen die Sonnenstrahlen senk-

recht auf den Aequator. (Fig. 86.) Tag und Nacht sind dann auf der ganzen Erde gleich. Nur die beiden Punkte P und P am Pol haben, weil sie eben noch von den Sonnenstrahlen rasirt werden, 24 Stunden lang Tag.

Fig. 86.



Die beiden Pole haben abwechselnd ½ Jahr Tag und ½ Jahr Nacht. Die Dauer des Tages für verschiedene Breiten zeigt die nachstehende Tabelle.

Monat	Dauer des Tages in der Breite von									
	0°	10°	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	
Januar	12,0	11,5	10,9	9,6	9,5	9,0	8,4	6,4	—	Stunden.
Februar	12,0	11,7	11,5	11,2	10,6	10,2	9,9	8,9	6,8	"
März	12,0	12,0	11,9	11,9	11,8	11,8	11,7	11,6	11,3	"
April	12,0	12,1	12,4	12,8	13,1	13,3	13,6	14,3	15,8	"
Mai	12,0	12,5	12,8	13,5	14,3	14,7	15,3	16,9	21,5	"
Juni	12,0	12,6	13,2	13,9	14,8	15,4	16,1	18,4	24,0	"
Juli	12,0	12,5	13,1	13,7	14,5	15,1	15,7	17,7	24,0	"
August	12,0	12,3	12,5	13,1	13,6	13,9	14,3	15,3	17,6	"
September	12,0	12,1	12,1	12,2	12,3	12,3	12,4	12,6	12,9	"
October	12,0	11,6	11,6	11,3	11,0	11,0	10,6	9,9	8,6	"
November	12,0	11,1	11,1	10,5	9,8	9,8	8,8	7,2	3,0	"
Dezember	12,0	10,8	10,8	10,1	9,2	9,2	7,9	5,5	—	"

Unter der Breite von 67° 19′ dauert der längste Tag 30 Tage, unter 69° 34′ Breite 60 Tage, unter 73° 5′ Breite 90 Tage, unter 77° 38′ Br. 120 Tage, unter 82° 55′ Br. 150 Tage, unter 88° 38′ Br. 180 Tage unter 90° Br. 6 Monate.

2. Regeln für die Temperaturbeobachtungen.

Wenn man den Gang der täglichen Temperatur der Luft mittelst des Thermometers bestimmen will, so sind Vorsichtsmaßregeln zu beobachten, ohne welche das gefundene Resultat nicht richtig sein würde.

a) Das Thermometer darf nicht direct von der Sonne beschienen werden. Denn in diesem Falle gibt es nicht die Wärme der Luft, sondern die Temperatur an, welche ihm selbst durch die aufgefallenen Sonnenstrahlen

ertheilt wird. Diese ist aber immer höher, als jene, weil das Glas mehr Wärme absorbirt, als die Luft. Bei ganz reinem weißem Glase beträgt die Differenz immer noch einige Grade.

b) Das Instrument darf nicht im Zimmer hängen, weil in einem solchen, selbst wenn Thüren und Fenster geöffnet sind, stets Wärmestrahlung von den Wänden stattfindet. Beobachtet man von einem Gebäude aus, so muß das Thermometer auf der Nordseite desselben in einer ziemlichen Entfernung von der Wand angebracht sein. Steht ein Haus gegenüber, so erhält man unrichtige Resultate, weil dieses die Sonnenstrahlen nach der Nordseite des Nachbarhauses, wo das Thermometer aufgehängt ist, reflectirt. In engen Straßen, die sich später, als die freie Luft erwärmen, soll man gar keine Temperaturbeobachtungen zu dem angegebenen Zwecke vornehmen.

c) Das Thermometer darf nicht zu nahe am Boden angebracht sein. Der Boden erwärmt sich bei Tage stärker, als die Luft, bei Nacht dagegen kühlt er sich mehr ab. Das Thermometer wird also bei Tage die Temperatur zu hoch, Nachts dagegen zu niedrig angeben. Der Unterschied kann mehrere Grade betragen.

Six beobachtete ein Thermometer 6 Fuß vom Boden und in 220 Fuß Höhe auf einem Thurm; er fand, daß die höchste Tagestemperatur am Boden 7°,9, auf dem Thurm nur 7°,1, die niedrigste Temperatur am Boden 2°,6, auf dem Thurm 3°,1 betrug.

Ist der Boden feucht, so kühlt er sich Nachts in noch weit höherm Maße ab, als die Luft, weil durch die verdunstende Feuchtigkeit Wärme gebunden wird. Eine Bekleidung des Bodens mit Gewächsen befördert ebenfalls die Verdunstung und somit die Erniedrigung der Temperatur. Daniell brachte einen Thermometrographen dicht über einem Rasen, einen andern mehrere Fuße über demselben an. Der Unterschied in den kleinsten Werthen beider Instrumente betrug nach dem Mittel dreijähriger Beobachtungen im

Januar	1°,9	April	3,4	Juli	3,0	October	2,7
Februar	2,6	Mai	2,3	August	2,9	November	2,0
März	3,1	Juni	2,9	September	2,0	Dezember	1,9

3. Directe Beobachtungen über den Gang der täglichen Temperatur der Luft im Schatten.

Die ältesten Beobachtungen sind diejenigen, welche Chiminello in Padua in den Jahren 1778—1780 mit Unterbrechungen angestellt hat. Sie erstrecken sich auf die Dauer von 16 Monaten. Mit Ausnahme von 12 Uhr des Nachts bis Morgens 4 Uhr, während welcher Zeit nur eine Beobachtuug stattfand, wurde das Thermometer alle Stunden abgelesen. Für die fehlenden Stunden interpolirte Chiminello nach der Regel von Lalande. Padua liegt in 45° 23′ nördlicher Breite.

Die ersten genauen Temperaturbeobachtungen nach Chiminello wurden 1824 und 1825 im Fort Leith bei Edinburg von englischen Officieren auf Brewster's Veranlassung unternommen. Fort Leith liegt in 55° 58′ nördl. Breite.

Vorzügliche Beobachtungen über den Gang der täglichen Wärme in Halle verdanken wir Kämtz. Er zeichnete mehrere Jahre hindurch den Stand des Thermometers von 6 Uhr Morgens bis 10 Uhr Abends alle 1—2 Stunden auf. Die fehlenden Werthe ergänzte er nach einer sehr zweckmäßigen Interpolationsformel. Halle liegt in 50° 31′ in Breite.

Tab. I., II. und III. enthalten die Notirungen von Padua, Fort Leith und Halle.

Gang der täglichen Wärme in Padua.

I.

Stunde.		Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	October	November	Dezember
Mittag	12	4°,94	6°,44	9°,38	14°,68	23°,39	25°,08	30°,01	26°,62	21°,06	16°,50	10°,25	5°,71
	1	5,44	6,70	9,66	15,13	23,57	25,19	30,47	26,97	21,56	17,10	10,75	6,21
	2	5,60	6,91	9,91	15,43	23,65	25,21	30,73	27,45	21,93	17,43	10,92	6,41
	3	5,52	6,95	10,10	15,70	23,65	25,17	30,48	27,55	21,97	17,47	10,50	5,94
	4	5,19	6,56	9,87	15,65	23,31	24,68	29,59	26,83	21,35	17,34	9,64	5,27
	5	4,80	6,11	9,47	15,50	22,57	23,93	29,11	25,90	20,38	16,23	8,64	4,76
	6	4,45	5,88	9,01	14,92	21,47	23,18	27,82	24,46	19,42	15,60	7,92	4,25
	7	4,11	5,67	8,64	14,43	20,29	22,08	26,64	23,19	18,60	15,09	7,58	4,03
	8	3,80	5,42	8,27	13,62	20,14	21,45	24,80	22,17	18,50	14,86	7,32	3,79
	9	3,65	5,07	7,86	13,17	18,58	20,21	24,14	21,53	18,09	14,59	7,12	3,52
	10	3,49	4,78	7,43	12,69	18,17	19,78	23,97	21,09	17,65	14,27	6,83	3,26
	11	3,35	4,50	7,13	12,28	17,78	19,61	23,39	20,57	17,33	14,07	6,66	3,10
	12	3,25	4,28	6,83	11,97	17,44	19,31	23,02	20,00	16,68	13,94	6,56	2,97
M. Nacht	1	2,98	4,18	6,62	11,49	16,93	19,17	22,49	19,95	16,39	13,85	6,43	2,80
	2	2,98	3,88	6,23	11,17	16,60	18,93	22,06	19,42	16,07	13,63	6,28	2,64
	3	2,76	3,68	5,96	10,95	16,22	18,58	21,65	18,98	15,76	13,42	6,15	2,61
	4	2,72	3,48	5,63	10,57	16,05	18,54	21,34	18,49	15,46	13,18	6,04	2,53
	5	2,38	3,25	5,37	10,20	16,26	19,94	21,89	18,49	15,05	12,94	5,95	2,44
	6	2,30	3,06	5,16	10,25	17,52	20,40	23,47	19,13	15,20	13,00	5,87	2,39
	7	2,15	2,91	5,40	10,76	19,14	21,83	25,36	20,52	16,15	13,21	5,75	2,30
	8	2,37	3,12	6,91	11,74	20,26	22,74	26,37	22,06	17,39	13,91	6,52	2,59
	9	2,84	3,86	6,97	12,80	21,31	23,48	28,10	24,85	19,11	14,69	7,70	3,43
	10	3,58	4,99	8,77	13,56	22,09	24,00	28,92	25,17	19,67	15,56	8,74	4,16
	11	4,43	5,67	8,82	14,09	22,85	24,72	29,52	25,76	20,33	16,16	9,62	5,15
Mittel		3,71	4,89	7,73	13,03	19,97	21,93	26,06	22,79	18,38	14,92	7,73	3,84

Gang der täglichen Wärme zu Fort Leith.

II.

Stunde.		Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	August	September	October	November	Dezember
Mittag	12	5,57	5,68	6,29	10,01	11,43	14,81	16,26	15,28	10,85	6,16	5,00
	1	5,79	5,99	6,49	10,25	11,77	15,01	16,51	15,72	11,09	6,35	5,10
	2	5,88	5,98	6,67	10,45	12,01	15,39	16,62	15,91	11,12	6,50	5,12
	3	5,89	6,00	6,71	10,66	12,05	15,68	16,62	15,85	10,96	6,53	4,88
	4	5,66	5,70	6,69	10,49	12,23	15,45	16,75	15,52	10,63	6,01	4,72
	5	5,38	5,27	6,42	10,19	12,15	15,32	16,69	15,51	10,27	5,64	4,54
	6	5,25	5,00	6,03	9,96	11,86	15,08	16,52	14,81	9,86	5,44	4,41
	7	5,05	4,79	5,49	9,19	11,36	14,66	15,54	14,08	9,52	5,21	4,16
	8	4,93	4,57	5,09	8,28	10,56	13,70	14,83	13,63	9,22	5,04	4,10
	9	4,88	4,40	4,70	7,62	9,73	12,98	14,27	13,22	9,14	4,90	4,06
	10	4,90	4,25	4,41	7,23	9,44	12,21	13,72	12,85	8,90	4,63	4,03
	11	4,83	4,19	4,12	6,62	8,97	12,06	13,36	12,62	8,65	4,41	3,96
	12	4,79	4,18	4,04	6,34	8,62	11,77	13,06	12,28	8,71	4,28	3,93
M. Nacht	1	4,79	4,26	4,86	6,16	8,22	11,44	12,96	12,13	8,93	4,37	3,86
	2	4,66	4,31	4,74	5,65	7,99	11,25	12,82	12,00	8,88	4,22	3,90
	3	4,62	4,32	3,50	4,29	7,71	11,18	12,66	11,72	8,82	4,30	3,92
	4	4,48	4,22	3,40	4,88	7,46	11,05	12,54	11,51	8,80	4,26	3,87
	5	4,41	4,09	3,31	4,78	7,53	11,07	12,57	11,44	8,64	4,31	3,84
	6	4,41	4,02	3,29	4,85	7,96	11,57	12,79	11,59	8,41	4,36	3,93
	7	4,46	4,05	3,47	5,90	8,44	12,01	13,35	12,02	8,64	4,48	3,89
	8	4,51	4,04	3,84	6,62	9,14	12,65	14,00	12,73	9,00	4,50	3,96
	9	4,66	4,31	4,39	7,98	9,85	13,36	14 88	13,62	9,37	4,76	4,09
	10	4,91	4,78	4,74	8,94	10,50	13,98	15,30	14,15	10,00	5,26	4,27
	11	5,19	4,28	5,51	9,50	11,02	14,53	15,72	14,77	10,49	5,81	4,73
Mittel		5,00	4,74	4,84	7,83	9,91	13,26	14,60	14,35	9,54	5,07	4,26

III.

Gang der täglichen Wärme zu Halle.

Stunde	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	October	November	December
Mittag 12	— 1,02	1,91	6,04	13,25	16,26	19,01	21,51	21,11	17,86	12,45	5,69	3,46
1	— 0,69	2,51	6,45	13,88	16,85	19,56	22,15	21,68	18,35	12,98	6,08	3,69
2	— 0,59	2,82	6,66	14,18	17,09	19,91	22,53	21,90	18,59	13,16	6,16	3,70
3	— 0,72	2,63	6,51	14,10	17,14	20,05	22,63	21,95	18,55	12,85	5,90	3,51
4	— 0,98	2,16	6,21	13,66	16,84	19,76	22,31	21,61	18,19	12,30	5,43	3,26
5	— 1,39	1,56	5,65	13,02	16,35	19,15	21,65	21,04	17,58	11,66	4,94	2,86
6	— 1,67	1,04	5,02	12,26	15,73	18,50	20,90	19,95	16,75	10,90	4,50	2,59
7	— 1,89	0,66	4,53	11,23	14,90	17,59	19,94	19,22	15,86	10,26	4,17	2,38
8	— 2,05	0,41	3,95	10,46	14,00	16,63	18,89	18,23	14,94	9,66	3,95	2,23
9	— 2,19	0,14	3,55	9,63	13,05	15,63	17,88	17,30	14,10	9,09	3,74	2,07
10	— 2,13	— 0,08	3,14	8,93	12,08	14,59	16,84	16,37	13,37	8,55	3,51	1,91
11	— 2,44	— 0,28	2,89	8,37	10,88	13,46	15,86	15,48	12,68	8,00	3,26	1,88
M.Nacht 12	— 2,56	— 0,51	2,65	7,81	9,67	12,36	14,90	14,61	12,09	7,56	3,05	1,84
1	— 2,65	— 0,74	2,43	7,32	8,64	11,44	14,09	13,92	11,55	7,19	2,89	1,80
2	— 2,71	— 0,95	2,18	6,88	7,96	10,83	13,55	13,34	11,09	6,89	2,81	1,76
3	— 2,75	— 1,12	1,91	6,45	7,81	10,79	13,42	13,03	10,72	6,62	2,79	1,74
4	— 2,80	— 1,27	1,70	6,28	8,21	11,20	13,75	13,04	10,56	6,44	2,74	1,71
5	— 2,87	— 1,37	1,60	6,35	9,05	12,03	14,49	13,40	10,69	6,39	2,71	1,67
6	— 2,98	— 1,40	1,73	6,76	10,20	13,11	15,52	14,19	11,19	6,59	2,75	1,65
7	— 2,95	— 1,33	2,10	7,56	11,31	14,24	16,65	15,11	12,00	7,02	2,85	1,61
8	— 2,86	— 1,07	2,70	8,69	12,53	15,41	17,91	16,44	13,23	7,75	3,07	1,65
9	— 2,50	— 0,36	3,63	9,99	13,63	16,44	18,91	17,74	14,31	8,99	3,62	1,99
10	— 2,11	0,40	4,70	11,25	14,61	17,39	19,82	18,99	15,88	10,29	4,39	2,45
11	— 1,49	1,25	5,36	12,35	15,54	18,23	20,69	20,12	17,00	11,48	5,09	3,01
Mittel	— 2,05	0,30	3,88	10,03	12,93	15,72	18,20	17,49	14,46	9,40	4,00	2,34

4. Resultate der Beobachtungen über den Gang der täglichen Temperatur.

Die wichtigsten Folgerungen, welche sich aus den Zahlen in den vorstehenden Tabellen ziehen lassen, sind diese:

a. **Die Temperatur steigt von Sonnenaufgang an bis zur höchsten Sonnenhöhe.**

Dieses Resultat war von vorn herein abzusehen. Denn die Sonnenstrahlen nähern sich um so mehr der senkrechten Richtung, je höher die Sonne über den Horizont emporsteigt.

Indessen gilt der obige Satz nur dann, wenn man von vielen Beobachtungen das Mittel nimmt. Verdecken Wolken zeitweise den Himmel, oder tritt plötzlich ein kalter Luftstrom ein, so kann kurz vor Mittag die Temperatur sinken, während sie von Sonnenaufgang an gestiegen ist.

b. **Das Maximum der täglichen Temperatur tritt nicht mit dem höchsten Stand der Sonne, sondern etwas später ein.**

Wenn gar keine Wärmestrahlung nach den obern kältern Luftschichten stattfände, so müßte die Temperatur fortwährend steigen. Nach Aufgang der Sonne wächst die Temperatur, gleichzeitig findet aber ein Wärmeverlust durch Strahlung statt, dessen Größe der Temperaturhöhe fast gerade proportional ist. So lange die zugeführte Wärme bedeutender ist, als die Ausstrahlung, nimmt auch die Temperatur zu. Da aber die Sonne nach 12 Uhr wieder nach dem Horizont hinabsinkt, wodurch die Wirkung ihrer immer schiefer auffallenden Strahlen geschwächt wird, so kommt endlich ein Zeitmoment, in welchem die Luft mehr Wärme verliert, als ihr durch die Sonne mitgetheilt wird, und nun fällt die Temperatur. Da übrigens der Beobachtung gemäß die Wärme bis 12 Uhr steigt, so muß dies auch noch einige Zeit nach 12 Uhr geschehen, denn die Sonne steht kurz vor 12 Uhr eben so hoch am Himmel, als in dem nämlichen Zeitabstand nach 12 Uhr und das Aufsteigen und Sinken der Sonne um Mittag ist verhältnißmäßig unbedeutend.

Für den Umstand, daß die Temperatur noch einige Zeit nach 12 Uhr steigt, hat man sehr abweichende Erklärungen. Eine von diesen fußt darauf, daß die feste Erdoberfläche Wärme ansammle, welche sie nur allmählig abgebe, so daß die vor 12 Uhr in ihr aufgespeicherte Wärme erst nach 12 Uhr zur Ausstrahlung gelange. Wir wollen die vorliegende Frage einer mathematischen Betrachtung unterwerfen; aus dieser wird sich ergeben, daß nach 12 Uhr eine Zunahme der Temperatur auch dann erfolgen muß, wenn der Boden gar keine Wärme an die Atmosphäre abgibt.

Es sei die Wärme ganz kurz vor 12 Uhr $= W$,
bis 12 Uhr erfolge der Wärmezuwachs $= x$,
so ist die Wärme um 12 Uhr $= W + x$.

Hiervon nimmt die Strahlung einen Theil hinweg, welcher der vorhandenen Temperatur proportional ist. Damit wir aber bei dieser Annahme keinen Fehler begehen, müssen wir die Zeit, in welcher die Temperatur W stattfindet, ganz kurz vor 12 Uhr legen.

Es ist also Ausstrahlung $= \frac{W + x}{a} = \frac{W}{a} + \frac{x}{a}$,

wobei $\frac{1}{a}$ denjenigen Theil der Wärme bezeichnet, welcher durch Strahlung verloren geht. Da wir wissen, daß die Temperatur kurze Zeit vor 12 Uhr bis zur Culmination der Sonne steigt, so muß $\frac{W}{a} + \frac{x}{a} < x$ sein.

Nennen wir $x - (\frac{W}{a} + \frac{x}{a}) = q$,

so ist nach Abzug der Strahlung Wärme um 12 Uhr $= W + q$.

Offenbar erfolgt kurze Zeit nach 12 Uhr der nämliche Zuwachs x, der in dem nämlichen Zeitabstand vor 12 Uhr stattgefunden hat. Es ist demnach

Temperatur kurze Zeit nach 12 Uhr $= W + q + x$;

die Ausstrahlung beträgt $\frac{W}{a} + \frac{q}{a} + \frac{x}{a}$;

also Temperatur kurze Zeit nach 12 Uhr nach Abzug der ausgestrahlten Wärme

$$= W + q + x - \frac{W}{a} - \frac{q}{a} - \frac{x}{a}$$

$$= W + q + x - (\frac{W}{a} + \frac{x}{a}) - \frac{q}{a}$$

$$= W + q + q - \frac{q}{a} \text{ weil } x - (\frac{W}{a} + \frac{x}{a}) = q \text{ gesetzt wurde.}$$

Es ist offenbar q größer, als $\frac{q}{a}$, demnach $q - \frac{q}{a}$ positiv.

Nennen wir $q - \frac{q}{a} = r$, so ist

Temperatur kurze Zeit nach 12 Uhr $= W + q + r$; es war aber
Temperatur kurze Zeit vor 12 Uhr $= W + q$

Also Wärmeüberschuß kurze Zeit nach
12 Uhr über die Wärme um 12 Uhr $= r$.

Da wir bei der vorstehenden Betrachtung gar keine Rücksicht auf die vom Boden ausgehende Wärme genommen haben, so ist hiermit erwiesen, daß die Temperatur nach der Culmination der Sonne noch einige Zeit steigen muß, ohne daß die im Boden aufgespeicherte Wärme hieran Antheil nimmt.

Die Tabellen I., II. und III. ergeben für den Eintritt des täglichen Maximums der Temperatur:

Monat	Padua	Forth Leith	Halle
Januar	2 Uhr	3 Uhr	2 Uhr
Februar	3 „	3 „	2 „
März	3 „	3 „	2 „
April	3 „	3 „	2 „
Mai	2—3 „	4 „	3 „
Juni	2 „	3 „	3 „
Juli	2 „	5 „	3 „
August	3 „	4 „	3 „
September	3 „	2 „	2 „
October	3 „	2 „	2 „
November	2 „	3 „	2 „
December	2 „	2 „	2 „

Das Maximum der täglichen Temperatur tritt also in den Sommermonaten durchschnittlich etwas später ein, als im Winter. Doch zeigen sich auch hier Abnormitäten. In Pondichery findet das Maximum im Februar und März Vormittags zwischen 9 und 10 Uhr statt, weil um diese Zeit ein kühler Seewind die Temperatur ermäßigt.

Am Aequator tritt nach Horner das Maximum um 1 Uhr, nach John Davy zur Mittagszeit ein. Humboldt beobachtete es in Südamerika um 2 Uhr Nachmittags.

c. Das Minimum der täglichen Temperatur erfolgt im Durchschnitt des Morgens kurz vor Sonnenaufgang, im Winter etwas früher, als im Sommer.

In nebelreichen Gegenden sinkt die Temperatur auch oft noch kurze Zeit nach dem Aufgang der Sonne. Dies läßt sich folgendermaßen erklären. Dichte Nebel hindern die Ausstrahlung der Boden- und Luftwärme; wenn nun Morgens frühe die Nebel von der Sonne aufgelöst werden, so findet plötzlich eine Wiederausstrahlung nach der freien Atmosphäre hin statt.

d. Die Temperaturveränderungen von Stunde zu Stunde befolgen keine genau arithmetische Reihe,

weil die Zunahme der Temperatur dem Sinus der Sonnenhöhe, die Abnahme dagegen der jedesmal stattfindenden Temperatur proportional ist.

Nach den Beobachtungen in Padua steigt im jährlichen Mittel das Thermometer

von	5—6	Uhr Vorm.	um	0°.37,	fällt von	2—4	Uhr Nachm.	um	0.51
„	6—8	„ „	„	1.41	„ „	4—6	„ „	„	1.36
„	8—10	„ „	„	1.88	„ „	6—8	„ „	„	1.19
„	10—12	„ „	„	1.31	„ „	8—10	„ „	„	0.86
„	12—2	„ Nachm.	„	0.62					

fällt von 10—12 Uhr Nachm. um 0.60
„ „ 12—2 „ Vorm. „ 0.52
„ „ 2—4 „ „ „ 0.48
„ „ 4—5 „ „ „ 0.07

Man sieht, daß in der Nähe des Maximums (2 Uhr Nachm.) und des Minimums (5 Uhr Vorm.) Steigen und Fallen weniger rasch von Statten geht, als in einiger Entfernung von diesen beiden Punkten. Der Gang der Temperatur befolgt also das in der reinen Mathematik längst bekannte Gesetz, wonach die Funktionen in der Nähe ihrer größten und kleinsten Werthe nur allmählig zu- und abnehmen.

e. Der Unterschied zwischen den täglichen Temperaturextremen ist am größten in den warmen, am kleinsten in den kalten Monaten.

Dies ergibt folgende Uebersicht:

	Padua	Forth Leith	Halle	Zürich
Januar	3°,45	1,48	1,36	4°.0
Februar	4,04	1,98	4,22	4.7
März	4,94	3,42	5,06	6.5
April	5,50	5,88	7,90	8.2
Mai	7,60	4,77	9,33	9.5
Juni	6,67	4,63	9,26	8.7
Juli	9,39	5,38	9,21	9.5
August	9,06	4,21	8,92	8,3
September	6,92	4,47	8,03	7,3
October	4,53	2,71	6,77	6,3
November	5,17	2,24	3,45	3,5
December	4,11	1,28	2,09	3,3

Die Differenz des täglichen Maximums und Minimums der Temperatur ist

	am größten	am kleinsten
für London	2. Juli	1. Januar
„ Paris	29. „	29. December
„ Genf	1. „	23. „
„ Avignon	12. „	1. Januar
„ Palermo	27. „	25. December
Mittel	17. Juli	24. December.

In der Polarzone ist der Unterschied der täglichen Temperaturextreme durch alle Monate hin nahe derselbe. Dies erklärt sich folgendermaßen. Wenn im Sommer die Sonne gar nicht oder nur kurze Zeit unter den Horizont tritt, so kann beinahe gar keine Abkühlung der Atmosphäre stattfinden; und wenn im Winter die Sonne gar nicht oder nur kurze Zeit über den Horizont

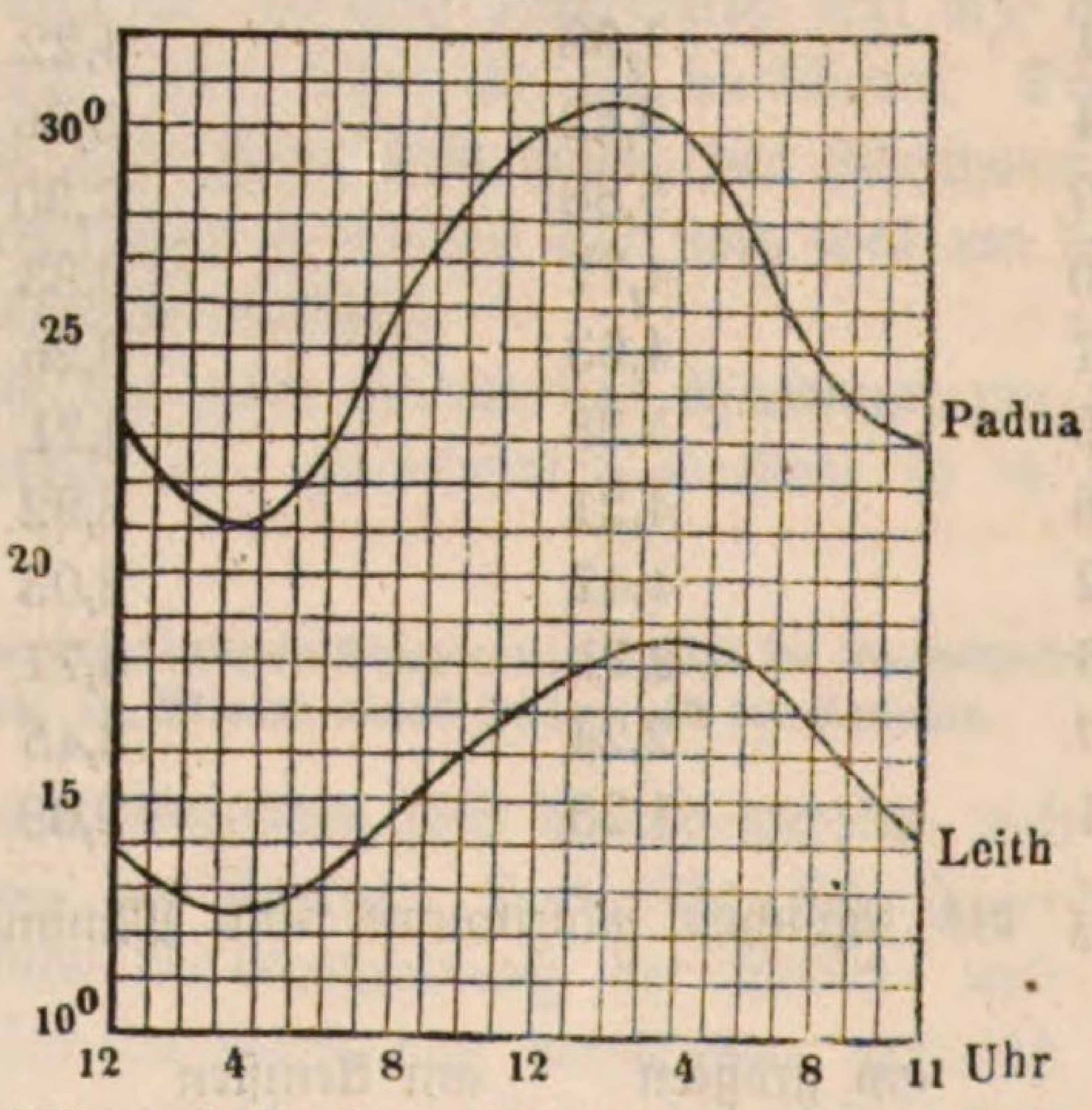
steigt, so kann wiederum keine Erwärmung erfolgen. Somit hält sich der Unterschied der Extreme in allen Jahreszeiten nahezu gleich.

Zur Bestätigung dieses Gesetzes diene die folgende Tabelle, welche die Differenz der monatlichen Temperaturschwankungen für Enontekis (68°¼ n. B.) in Lappland angibt.

Januar	4.96	Juli	4.56
Februar	4.96	August	4.06
März	7.16	September	4.53
April	5.40	October	4.93
Mai	3.91	November	4.43
Juni	4.03	December	5.76

An Orten in der Nähe des Meeres ist die Differenz zwischen dem täglichen Maximum und Minimum kleiner, als im Binnenlande. Das Meer erwärmt sich, wie wir später sehen werden, bei Tage nicht so stark, als das Land,

Fig. 87.



dagegen kühlt es sich auch Nachts nicht so sehr ab. Auch treten die täglichen Temperaturextreme am Meer etwas später ein, wie die nebenanstehende graphische Darstellung (Fig. 87.) des Gangs der täglichen Wärme für Padua und Fort Leith in dem Monate Juli zeigt.

5. Mittlere Tagestemperatur.

a. Begriff.

Wir haben im vorigen Paragraphen gesehen, daß die Temperatur im Laufe eines Tages fortwährend sich ändert. Theilt man aber die Zeit von 24 Stunden, welche einen Tag ausmachen, in kleinere Abschnitte τ, τ', τ'', ... so kann innerhalb dieser die Temperatur t, t', t'',... als stationär angenommen werden, wenn nur diese Zeitabschnitte die richtige Größe erhalten. In der

Nähe von dem Maximum und Minimum kann man sie etwas weiter auseinanderlegen, weil an diesen Punkten die Temperatur nur allmählig zu- oder abnimmt.

Nun habe man beobachtet:

während der Zeit τ die Temperatur t
" " " τ' " " t'
" " " τ'' " " t'' und so fort,

so ist die Summe aller Temperaturen während eines Tages

$$= \tau t + \tau' t' + \tau'' t'' + \ldots\ldots \quad (1.$$

Gesetzt, die Temperatur sei innerhalb 24 Stunden eine und dieselbe und $= T$ gewesen, so wird die Summe der täglichen Wärme

$$= T (\tau + \tau' + \tau'' + \ldots\ldots) \ldots\ldots \quad (2.$$

sein. Haben (1. und (2. gleichen Werth, so folgt aus

$$T (\tau + \tau' + \tau'' + \ldots\ldots) = \tau t + \tau t' + \tau'' t'' + \ldots\ldots$$

$$T = \frac{\tau t + \tau' t' + \tau'' t'' + \ldots}{\tau + \tau' + \tau'' + \ldots\ldots} \ldots\ldots (3.$$

T nennt man die mittlere Tagestemperatur. Diese gibt uns also an, wie groß eine (eingebildete) constante Temperatur sein muß, damit die Wärmesumme im Laufe eines Tages gleich derjenigen sei, welche sich ergibt, wenn der Thermometerstand fortwährend sich ändert.

b. **Methode zur Bestimmung der mittleren Tagestemperatur.**

α. Hat man stündliche Beobachtungen angestellt, wie dies z. B. Chiminello für Padua, Kämtz für Halle gethan haben, so erhält man aus Gleichung (3. unmittelbar die mittlere Temperatur des Tages, wenn man in jener $\tau = \tau' = \tau'' = \ldots\ldots = 1$ setzt. Es ist dann

$$T = \frac{t + t' + t'' + \ldots\ldots}{24}$$

Man erhält also aus stündlichen Aufzeichnungen des Thermometers die mittlere Tagestemperatur, wenn man die beobachteten Temperaturen addirt und die erhaltene Summe durch 24 dividirt.

So ist z. B. die mittlere Tagestemperatur des Monats Mai zu Halle $= (16{,}26 + 16{,}85 + 17{,}09 + 17{,}14 + 16{,}84 + 16{,}35 + 15{,}73 + 14{,}90 + 14{,}00 + 13{,}05 + 12{,}08 + 10{,}88 + 9{,}67 + 8{,}64 + 7{,}96 + 7{,}81 + 8{,}21 + 9{,}05 + 10{,}20 + 11{,}31 + 12{,}53 + 13{,}63 + 14{,}61 + 15{,}54) : 24 = 12{,}93$.

β. Die halbe Summe der beiden täglichen Temperaturextreme gibt die mittlere Tagestemperatur ziemlich genau an, wie folgende Uebersicht, entnommen aus den Beobachtungen Chiminello's, zeigt.

Padua.

	Medium aus 24 stündlichen Beobachtungen	Medium aus dem täglich. Maximum und Minimum	Differenz
Januar	3°,71	3°,84	+ 0°,13
Februar	4,89	4,93	+ 0,04
März	7,73	7,63	— 0,10
April	13,03	12,95	— 0,08
Mai	19,97	19,85	— 0,12
Juni	21,93	21,88	— 0,05
Juli	26,06	26,04	— 0,02
August	22,79	23,02	+ 0,23
September	18,38	18,51	+ 0,13
October	14,92	15,20	+ 0,28
November	7,73	8,33	+ 0,60
December	3,84	4,35	+ 0,51

Durch Anwendung des Thermometrographen wird die Herleitung der mittleren Tagestemperatur aus den täglichen Temperaturextremen außerordentlich erleichtert, so daß sie in der That jeder andern vorzuziehen ist. Die Abweichung von dem wahren Mittel beträgt nach ihr im Durchschnitt noch nicht 0,2 Grad.

γ. Beobachtung der Tageszeit, um welche eine der mittlern Tageswärme gleiche Temperatur stattfindet.

Dieses Verfahren würde, wenn es sich als practisch erwiese, den großen Vorzug der Einfachheit besitzen, denn es macht nur eine einzige Beobachtung nöthig.

Kämtz hat die Zeit genauer berechnet, um welche die mittlere Tagestemperatur in Padua und Leith eintritt und folgende Werthe gefunden:

	Morgen		Abend	
	Padua	Leith	Padua	Leith
	Uhr	Uhr	Uhr	Uhr
Januar	10,2	10,3	8,7	7,8
Februar	10,1	9,9	9,7	7,2
März	9,6	9,9	9,2	8,6
April	9,5	9,0	9,1	8,8
Mai	7,6	9,0	7,6	9,0
Juni	7,4	8,8	7,1	8,6
Juli	7,5	8,7	7,1	8,9
August	8,2	8,8	7,4	8,5
September	8,8	9,1	7,9	8,2
October	9,4	9,2	7,5	6,8
November	9,2	9,6	6,6	7,7
December	9,6	9,5	7,5	6,2

Wie man sieht, weichen die Stunden der mittlern Tagestemperatur nicht allein für verschiedene geographische Breiten, sondern auch bei einem und demselben Ort innerhalb der verschiedenen Monate von einander ab. Das so eben angegebene Verfahren möchte sich deßhalb und außerdem noch aus dem Grunde wenig empfehlen, weil es das sorgsame Abwarten einer bestimmten Zeit erfordert. Die Ermittlung dieser Zeit, welche für jeden Ort eine andere ist, setzt die Kenntniß des Gangs der täglichen Temperatur voraus. Hat man diesen aber einmal bestimmt, so erhält man die mittlere Temperatur ganz einfach nach der Methode unter α.

δ. Man nimmt aus mehrern Beobachtungen, welche an verschiedenen Tagesstunden angestellt worden sind, das Mittel und corrigirt dieses nach den Tafeln für Padua, Halle u. s. w.

Es sei z. B. für einen Ort x in Deutschland an irgend einem Tage die Temperatur um 6 Uhr Morgens $=$ a, um 2 Uhr Nachmittags $=$ b, um 9 Uhr Abends $=$ c, für Halle und die nämlichen Tagesstunden $=$ A, B, C gefunden werden, so ist das Mittel aus den ersten drei Beobachtungen $= \frac{a + b + c}{3} = d$, aus den drei letzten für Halle $= \frac{A + B + C}{3} = D$. Es sei die wahre Mitteltemperatur von Halle $= \delta$, so ist $\delta - D$ der positive oder negative Unterschied, welchen man zu d fügen muß, um die richtige Mitteltemperatur für den Ort x zu erhalten.

Gesetzt, es wäre an einem Tage des Monats September a $=$ 12.12, b $=$ 18.30, c $=$ 15.36 gefunden worden. Nach Tabelle III. beträgt für Halle A $=$ 11.19, B $=$ 18.59, C $=$ 14.10; also ist d $=$ 15.26, D $=$ 14.63; es ist $\delta = 14.46$, demnach $\delta - D = -0.17$; diesen Werth zu d $=$ 15,26 addirt, gibt die wahre Mitteltemperatur des Ortes x zu 15,09 an.

Wenn man mit keinem Thermometrographen versehen ist, so leistet das eben beschriebene Verfahren gute Dienste. Doch muß man in der Auswahl der Stunden, an welchen die Beobachtungen anzustellen sind, vorsichtig sein. Aus den früher mitgetheilten Tabellen für Padua, Fort Leith und Halle läßt sich leicht ermitteln, welche Stunden in jedem Monat zu derartigen Observationen am meisten sich eignen.

Dritter Abschnitt.

Gang der monatlichen und jährlichen Wärme.

I. Monatliche Wärme.

1. Der Gang der monatlichen Wärme ist der Art, daß die Temperatur von Anfang des Monats bis zum Ende desselben entweder steigt oder fällt, mit Ausnahme derjenigen beiden Monate, in welchen das Maximum oder Minimum der jährlichen Wärme eintritt. Der normale Gang der monatlichen Temperatur ergibt sich indessen nur aus mehrjährigen Beobachtungen, in welchen sich einzelne Irregularitäten ausgleichen.

2. Die mittlere Wärme eines Monats findet man am genauesten, wenn man die mittlere Wärme der einzelnen Tage addirt und die Summe durch die Anzahl Tage, welche einen Monat ausmachen, dividirt.

Die mittlere Temperatur eines Monats wechselt von Jahr zu Jahr; so war z. B. der Februar im Jahr 1849 in unsern Gegenden sehr kalt, der nämliche Monat im Jahr 1850 auffallend gelind. Um das richtige Mittel zu erhalten, nimmt man daher aus mehrjährigen Beobachtungen den Durchschnitt.

II. Wärme im Laufe des Jahres.

1. Gang der jährlichen Wärme.

A. Allgemeines.

Es würde die Uebersichtlichkeit erschweren, wenn man die jährliche Wärme von Tag zu Tag verfolgen wollte; man nimmt deßhalb die mittlere monatliche Wärme zum Anhaltspunkt. Dadurch erhält man noch den Vortheil, daß die jährliche Temperatur in regelmäßigerem Verlaufe sich darstellt. Vom rein theoretischen Standpunkt aus betrachtet, sollte man meinen, die Wärme müsse von Frühjahr an bis zur höchsten Sonnenhöhe stetig steigen; die Aufzeichnungen der täglichen Wärme ergeben dagegen oft rückgängige Bewegungen, die von manchen zufälligen Störungen, z. B. Winden, Regentagen u. s. w. herrühren. In dem monatlichen Mittel gleichen sich diese Abnormitäten aus.

Nach der so eben empfohlenen Methode erhält man also eine graphische Darstellung des Ganges der jährlichen Wärme, wenn man die Axe der Abscissen in 12 gleiche Theile, entsprechend der Anzahl der Monate, zerlegt, in den Theilungspunkten Ordinaten erhebt und diesen eine solche Länge gibt, welche der Temperatur der betreffenden Monate proportional ist. Indessen darf nicht übersehen werden, daß bei dieser Darstellungsweise die wahren Maxima und Minima der jährlichen Temperatur ausfallen. Um sie sichtbar zu machen, was in klimatogischer Beziehung mitunter wichtig ist, muß eine besondere Curve verzeichnet werden.

B. Gang der jährlichen Wärme in der nördlichen gemäßigten Zone und in der nördlichen Polarzone.

a. Das **Minimum** der Temperatur tritt nicht mit dem niedrigsten Stand der Sonne (23. Dezember) ein, sondern fällt etwas später, beinahe in die Mitte des Januar. Die Ursache dieser Erscheinung liegt darin, daß die unbedeutende Wärmezunahme in den auf den 23. December folgenden Tagen durch die viel stärkere Ausstrahlung überwogen wird.

Der **kälteste** Tag tritt ein:

in Enontekis	am 20. Januar;		in Upsula	am 16. Januar;	
„ Christiania	„ 17.	„	„ Paris	„ 12.	„
„ Turin	„ 3.	„	„ Padua	„ 14.	„
„ Rom	„ 16.	„	„ Capstadt	„ 6.	„

Im Mittel am 13. Januar.

b) Das **Maximum** der jährlichen Temperatur fällt nicht auf den 21. Juni, an welchem Tage die Sonne ihren höchsten Stand erreicht, sondern in den Monat Juli. Es muß demnach die Wärmezunahme einige Zeit nach der höchsten Sonnenhöhe immer noch größer sein, als der Wärmeverlust, welchen die Atmosphäre durch Ausstrahlung ihrer Wärme in den Weltraum erfährt. Es läßt sich gerade so, wie wir es für den Eintritt des täglichen Temperaturmaximums gethan haben, der Beweis führen, daß, wenn die Wärme bis zum 21. Juni steigt, sie einige Zeit nachher ihren größten Werth erlangen kann.

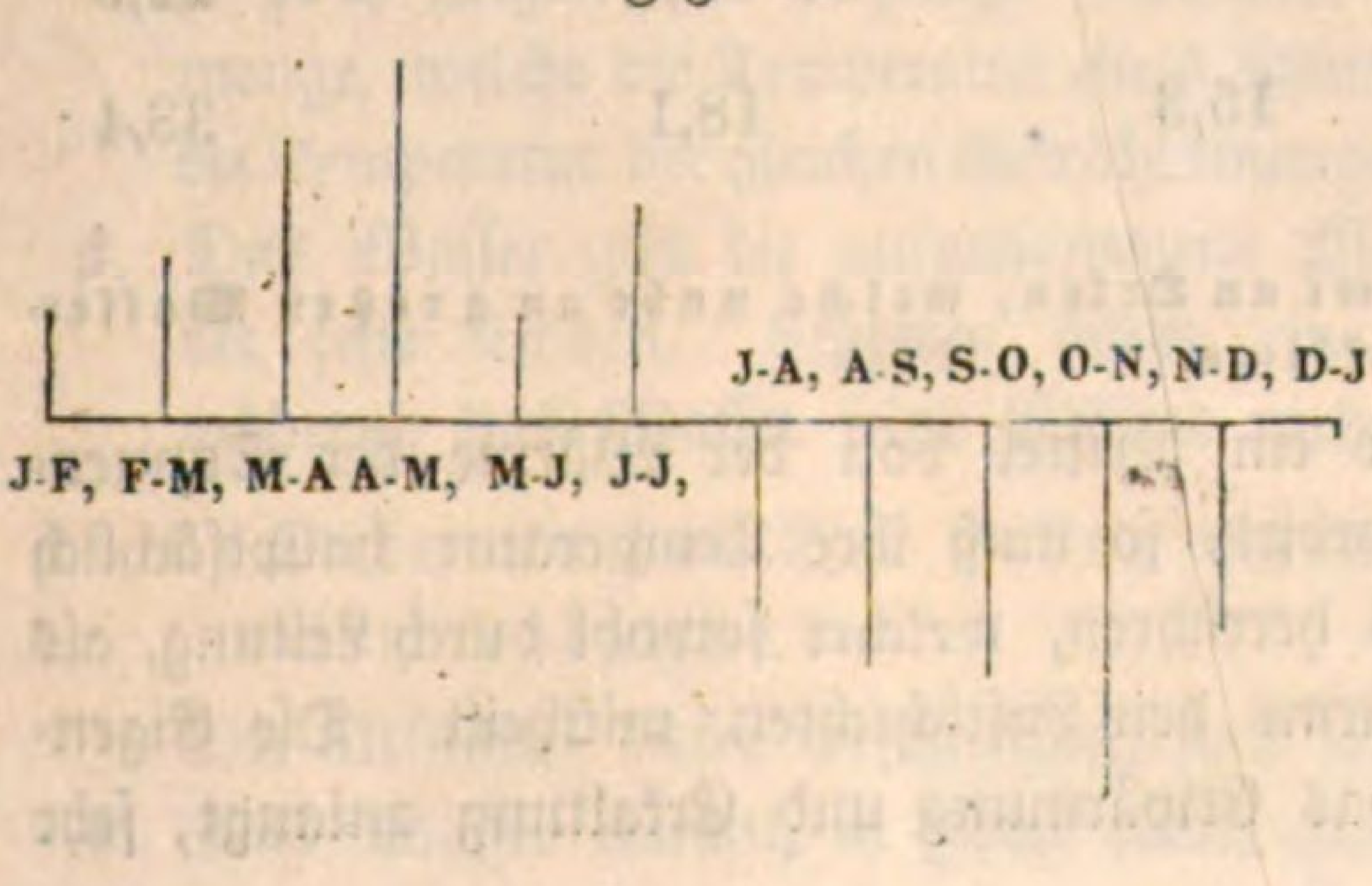
Der **wärmste** Tag tritt ein:

in Enontekis	am 26. Juli		in Upsala	am 21. Juli	
„ Christiania	„ 20.	„	„ Paris	„ 28.	„
„ Turin	„ 27.	„	„ Padua	„ 26.	„
„ Rom	„ 1. August		„ Capstadt	„ 4. August.	

Im Mittel am 27. Juli.

c) Von dem kältesten Tag an steigt die Wärme bis zum wärmsten und und kehrt darauf wieder zur Temperatur des kältesten Tages zurück. Am geringsten ist die Aenderung der Wärme in der Nähe der beiden Temperaturextreme.

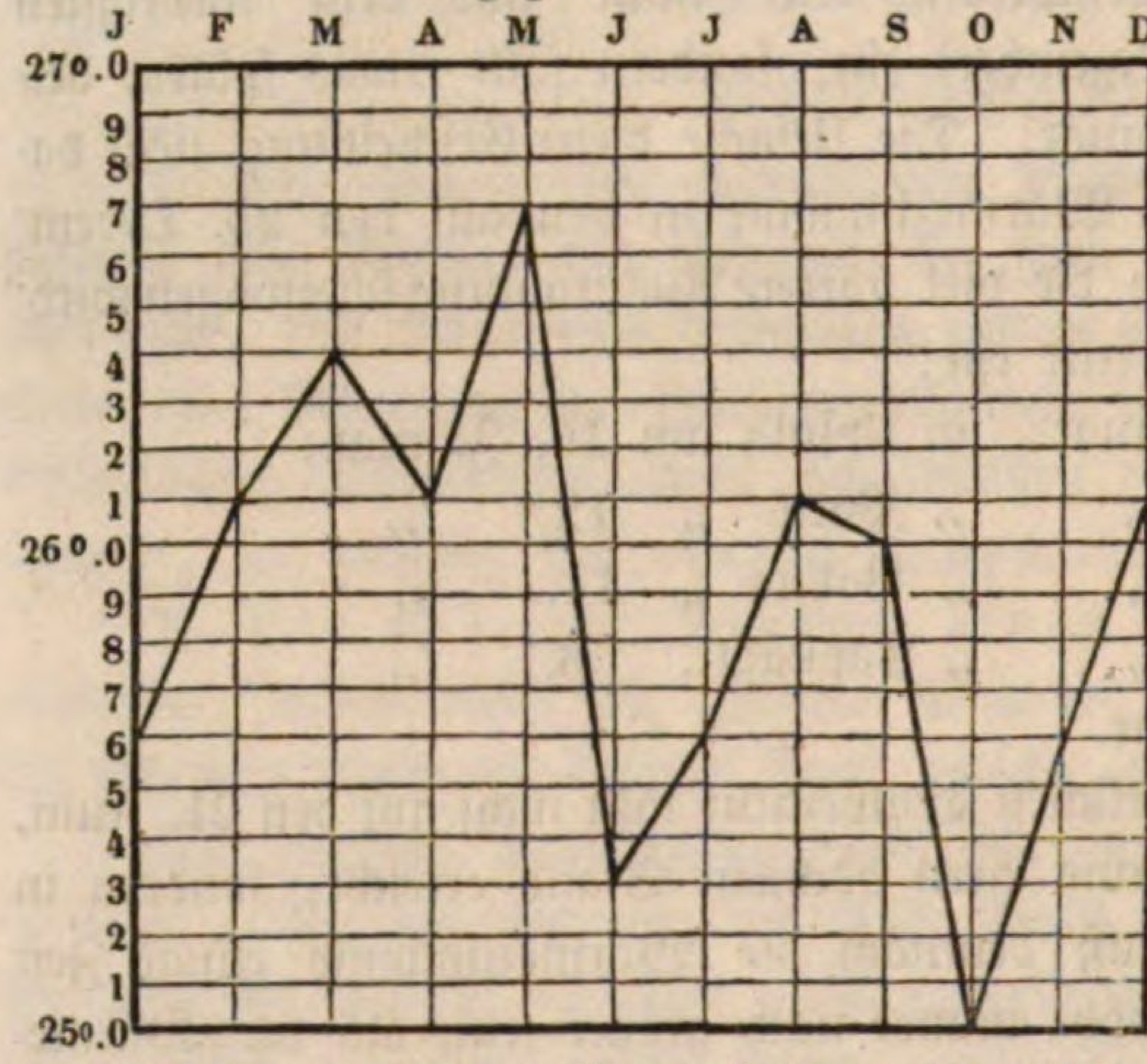
Fig. 88.



Die Verzeichnung der neben stehenden Fig. 88. versinnlicht das relative Steigen und Fallen der Temperatur in einzelnen Monaten. Die erste Ordinate gibt an, um wie viel die mittlere Temperatur des Februar diejenige des Januar übertrifft, die folgenden zeigen ebenso die Temperaturdifferenzen der übrigen Monate.

C. **Gang der jährlichen Wärme innerhalb der Wendekreise.**

Fig. 89.



Die Temperatur in der heißen Zone sollte, da die Sonnenstrahlen zweimal des Jahres auf jeden Ort senkrecht einfallen, zwei Maxima haben. Die Hydrometeore, welche innerhalb der Wendekreise eine wichtige Rolle spielen, ändern aber diesen Gang der Temperatur, wie er sich aus der Theorie ergibt, wesentlich ab, wie die Verzeichnung in Fig. 89. für Batavia (6°12′ südl. Breite) augenscheinlich macht.

Da unter den Wendekreisen die Höhe der Sonne über dem Horizont während den Jahreszeiten nicht so sehr differirt, als in der gemäßigten und noch mehr in der kalten Zone, so können auch die Unterschiede zwischen den monatlichen Temperaturen, ja selbst zwischen dem jährlichen Maximum und Minimum daselbst nicht so bedeutend sein. In der That sehen wir aus Fig. 89, daß die Temperatur von Batavia sich zwischen 25° und 26°,7 bewegt. Dagegen fand Parry bei seiner Nordpolexpedition als höchsten Thermometerstand + 15°,5, als niedrigsten — 47°,7, so daß also der Unterschied 63°,2 betrug. Wie die Temparaturextreme mit der Breite zunehmen, zeigt folgende Zusammenstellung.

Ort.	Breite.	Wärmster Monat.	Kältester Monat.	Unterschied.
Cumana	10°27	29°,1	26°,7	2°,4
Funchal auf Madeira	32°37′	24,2	17,8	6,4
Rom	41°53′	25,0	5,6	19,4
Stockholm	59°20′	17,8	5,1	22,9
Enontekis in Lappland	68°30′	15,3	18,1	33,4

D. **Gang der jährlichen Wärme an Orten, welche nahe an großen Wasserflächen gelegen sind. Seeklima.**

Da die Luft nur ungefähr ein Drittel von der Wärme der Sonnenstrahlen, welche sie passiren, absorbirt, so muß ihre Temperatur hauptsächlich von der Erwärmung des Bodens herrühren, welcher sowohl durch Leitung, als auch durch Strahlung seine Wärme den Luftschichten mittheilt. Die Eigenschaften des Wassers weichen, was Erwärmung und Erkaltung anlangt, sehr

wesentlich von denen des festen Bodens ab; hieraus folgt, daß Orte an der See anders temperirt sein werden, als Orte im Binnenlande. Da die Luft über dem Meere nicht stagnirt, sondern durch Winde von einer Stelle zur andern getrieben wird, so erstreckt sich der Einfluß, den die Temperatur großer Wasserflächen auf die Erwärmung der Luft über dem Lande ausübt, nicht blos auf die Küstengegenden, sondern ist oft noch in weiter Entfernung von diesen bemerkbar. Die vorzüglichsten Eigenthümlichkeiten des Seeklima's, in so weit dasselbe durch die Wärme bedingt wird, sind folgende:

a) Orte an der See haben in den Sommermonaten eine geringere Lufttemperatur, als Orte im Binnenlande, welche mit jenen unter gleicher Breite liegen — und zwar aus folgenden Gründen:

α. Das Wasser besitzt eine viel größere Wärmecapacität, als die festen Körper; d. h. es bedarf mehr Wärme, als diese, um seine Temperatur bis zu einem gewissen Punkte zu erhöhen. Wenn wir (S. 179.) mit spezifischer Wärme diejenige Wärmequantität bezeichnen, welche ein Körper aufnehmen muß, damit seine Temperatur um 1° steigt, so erfordert:

Wasser	1.0000
Kalkspath	0.2170
Arragonit	0.2018
Dolomit	0.2179
Gyps	0.2728
Adular	0.1861
Albit	0.1961
Labrador	0.1926
Augit	0.1938
Bergkrystall	0.1894
Luft	0.2669
Kohlensäure	0.2210

Die Temperatur des Wassers der Seen und Meere kann also nie so hoch steigen, als diejenige des festen Landes. Die nämliche Wärmemenge, welche die Temperatur eines Pfundes Wasser um 1° erhebt, steigert die Temperatur der gleichen Gewichtsmenge Feldspath oder Kalk um 5 Grade.

β. Das Wasser gibt die aufgenommene Wärme viel langsamer ab, als der feste Boden. Letzterer besitzt ein größeres Strahlungsvermögen, während das Wasser seine Wärme mehr durch Verdunstung verliert.

b) Orte an der See haben wärmere Winter, als Orte im Binnenlande.

Die Ursachen dieser Erscheinung sind folgende:

α. Das Wasser nimmt, in Folge seiner großen Wärmecapacität und wegen

seiner Durchsichtigkeit, eine viel größere Wärmesumme in sich auf, als der feste Boden. Die Wärme der Sonnenstrahlen wird nur an der obern Fläche des letztern absorbirt; in die tiefern Erdschichten dringt die Temperatur nur mittelst Leitung vor. Dagegen gelangen die Sonnenstrahlen weit unter den Spiegel des Wassers, denn nach Ed. Schmidts Berechnungen muß man 117 Fuß tief in das Meer hinabsteigen, damit die Sonne nicht heller erscheint, als der Vollmond.

β. Durch den Wellenschlag wird den unteren kälteren Wasserschichten die Temperatur der oberen wärmeren schnell mitgetheilt.

γ. Da die Temperatur des Wassers, wegen seiner hohen Wärmecapacität nicht so bedeutend steigen kann, als diejenige des Bodens, so wird jenes auch nicht so schnell erkalten; denn ein Körper gibt um so mehr Wärme an seine Umgebung ab, je größer die Temperaturdifferenz zwischen ihm und dieser Umgebung ist. Außerdem besitzen aber auch die festen Körper ein viel größeres Wärmestrahlungsvermögen, als die Flüssigkeiten.

Aus allem Diesem folgt, daß zwar die See sich langsamer erwärmt, als das Land, dagegen aber auch die einmal angenommene Temperatur viel länger, selbst bis in den Winter hinein, beibehält. Sie gibt ihre Wärme erst in der kältern Jahreszeit wieder ab, und zwar mittelst der Wasserdämpfe, welche sich durch die Verdunstung entwickeln. Die Dämpfe theilen der Luft über dem Lande ihre Wärme mit, wenn sie mit ihr in Berührung kommen, oder sie verdichten sich zu Regen, der den Boden erwärmt.

δ. Das an der Oberfläche der Seen und des Meeres befindliche Wasser erkaltet und sinkt dann, weil sein spezifisches Gewicht zugenommen hat, nach der Tiefe hinunter; dafür steigt aus dieser wärmeres Wasser in die Höhe. Dieser Umstand, welcher in der Beweglichkeit der einzelnen Theile flüssiger Körper beruht, macht das Wasser der See zu einer sehr nachhaltigen Wärmequelle. In dem Meere findet der Wiederersatz des kälter gewordenen Wasser durch wärmeres aus der Tiefe fortwährend statt, weil das spezifische Gewicht des Meereswassers zunimmt, wenn seine Temperatur sinkt. Das süße Wasser der Landseen leistet einen etwas geringern Effect, als das Meerwasser. Da es nämlich bei 4°,1 seine größte Dichte erreicht, so wird an dem Grunde eines solchen Sees das wärmere Wasser (von 4°,1) sich aufhalten, während über ihm kälteres, aber spezifisch leichteres Wasser sich befindet.

c) Der Unterschied der täglichen Temperaturextreme ist geringer für Orte an der See, als im Binnenlande.

Nach dem Vorhergehenden läßt sich dieses leicht erklären. Die nachstehende Uebersicht für Padua (im Binnenlande) und Leith (an der See) zeigt beispielsweise das Maß der Abweichung.

Monat	Unterschied der täglichen Temperaturextreme Padua	Leith	Monat	Unterschied der täglichen Temperaturextreme Padua	Leith
Januar	3°,45	1°,47	Juli	9°,39	5°,10
Februar	4,00	1,96	August	8,96	4,08
März	4,75	3,38	September	6,88	4,47
April	5,23	5,67	October	4,49	2,71
Mai	7,60	4,55	November	5,17	2,24
Juni	6,67	4,34	Dezember	4,11	1,28

Fig. 90.

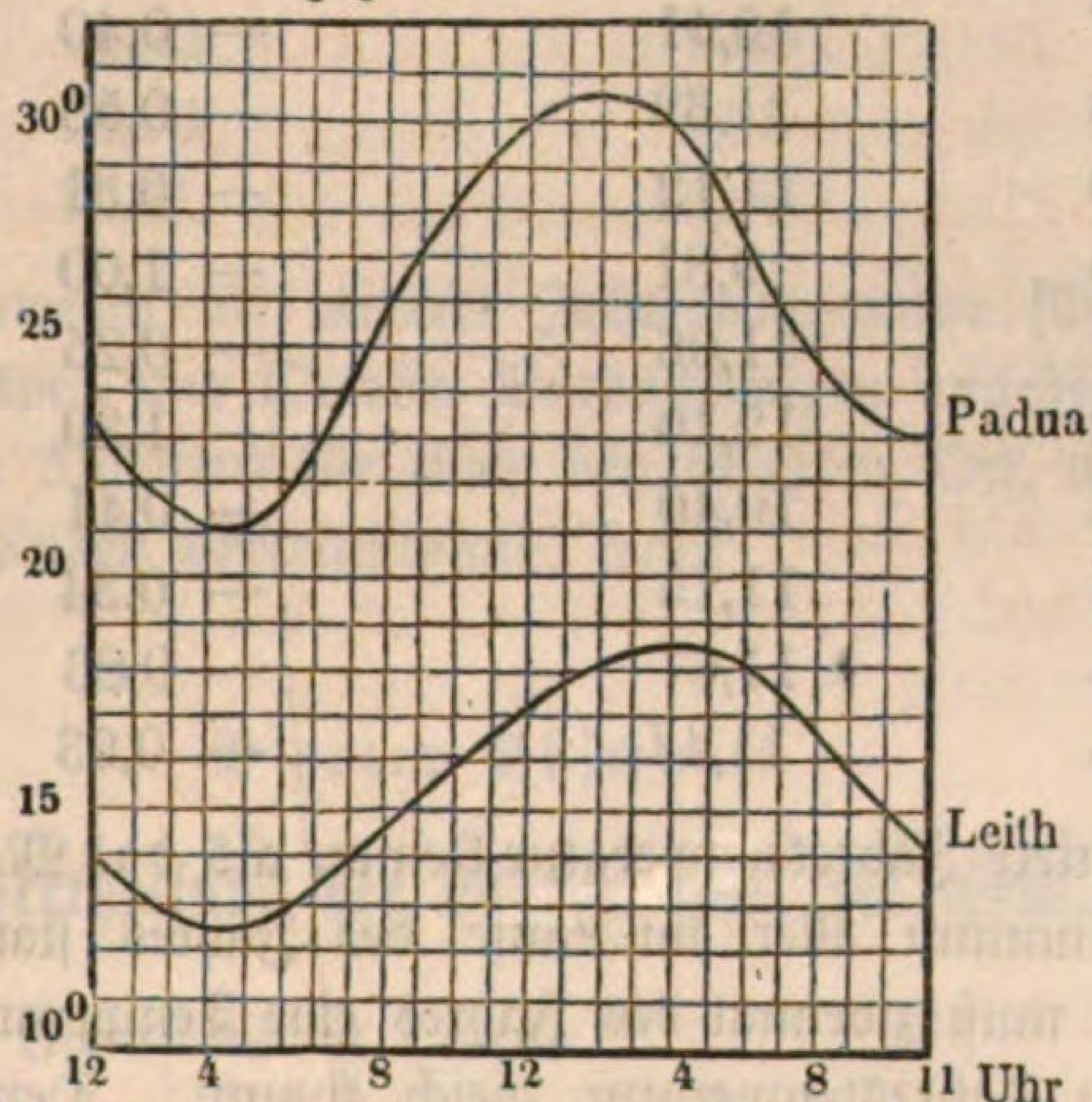


Fig. 90. veranschaulicht recht deutlich den Einfluß des Seeklimas auf den Gang der täglichen Wärme. Im Winter liegt das Minimum der täglichen Temperatur nicht so tief, dagegen das Maximum höher bei Orten, welche Seeklima haben.

2. **Mittlere Jahrestemperatur.**

Die Methoden zur Bestimmung der mittlern Jahrestemperatur sind folgende:

a) Man addirt die mittlere Temperatur jedes Tages durch das ganze Jahr hin und theilt die Summe durch die Anzahl der Tage (365). Das nämliche Resultat ergibt sich, indem die Summe der mittleren Monattemperaturen durch 12 dividirt wird. In beiden Fällen sind aber mehrjährige Beobachtungen nöthig, wenn die gefundene Zahl die richtige sein soll, denn die mittlere Temperatur eines und desselben Monats weicht in verschiedenen Jahrgängen oft gänzlich ab. Trotzdem ist aber der Fehler doch nicht sehr bedeutend und übersteigt selten die Größe von 1,5 Grad.

Man fand für Paris die mittlere Jahrestemperatur, berechnet aus 21 Beobachtungen = 10°,81 und

im Jahr	Jahrestemperatur	Abweichung vom Mittel
1806	12°,08	+ 1,27
1807	10,76	— 0,05

im Jahr	Jahrestemperatur	Abweichung vom Mittel
1808	10,35	— 0,46
1809	10,64	— 0,17
1810	10,62	— 0,19
1811	11,97	— 1,16
1812	9,89	— 0,82
1813	10,24	— 0,57
1814	9,80	— 1,01
1815	10,49	— 0,32
1816	9,40	— 1,41
1817	10,41	— 0,40
1818	11,39	— 0,58
1819	11,12	— 0,31
1820	9,81	— 1,00
1821	11,06	— 0,25
1822	12,10	— 1,29
1823	10,40	— 0,41
1824	11,15	— 0,34
1825	11,67	— 0,86
1826	11,44	— 0,63

b) Da die mittlere Jahrestemperatur kleiner, als das Maximum und größer als das Minimum aller im Laufe des Jahres stattfindenden Wärmegrade ist, so muß zweimal des Jahres eine Temperatur herrschen, welche der mittlern Jahrestemperatur gleich kommt Den Zeitpunkt, wenn dieses geschieht, fand man

für Enontekis	am 28. April	und	22.	Oktober
„ Christiania	„ 3. Mai	„	14.	„
„ Upsala	„ 22. „	„	18.	„
„ Manchester	„ 27. „	„	26.	„
„ Paris	„ 18. „	„	23.	„
„ Turin	„ 18. „	„	26.	„
„ Padua	„ 20. „	„	15.	„
„ Rom	„ 1. „	„	24.	„
„ Capstadt	„ 19. „	„	21.	„
Im Mittel	am 24. April	und	21.	Oktober,

also im letzten Drittel dieser beiden Monate.

Hieraus ergibt sich denn ein abgekürztes Verfahren, um die mittlere Jahrestemperatur zu bestimmen. Man beobachtet nämlich blos die Temperatur im April und Otcober und nimmt daraus das arithmethische Mittel. Doch müssen die Beobachtungen mehrere Jahre fortgesetzt werden.

Die nachstehende Tabelle enthält die Angabe der mittlern Jahres-

temperatur, hergeleitet aus 12 Monaten und aus zweien (April und October), sowie den Unterschied zwischen beiden Berechnungen.

Orte.	Mittel aus 12 Monaten.	Mittel aus April u. October.	Differenz.
Berlin	7°,93	7°,30	+ 0,63
Fulda	8,28	8,50	— 0,22
Tübingen	8,68	9,00	— 0,32
München	8,80	9,10	— 0,30
Hamburg	8,90	8,55	0,35
Erfurt	8,08	8,60	0,48
Frankfurt a. M.	9,83	9,60	0,23
Stuttgart	10,00	9,75	0,25
Würzburg	10,41	10,90	— 0,49

Man kann demnach die mittlere Jahrestemperatur für einen Ort, an dem man blos im April und October Beobachtungen angestellt hat, herleiten, wenn man die obige Differenz für einen benachbarten Ort, welche nach seiner Lage ꝛc. mit dem vorigen übereinstimmt, kennt.

Vierter Abschnitt.

Vertheilung der Wärme über die Erde.

1. Begriff der Isothermischen Linien.

Wenn die Masse der Erde fest, eben und durchaus von gleichartiger Beschaffenheit z. B. von Eisen wäre, so müßten alle Orte, welche auf einem und demselben Breitegrad liegen, einerlei Wärme besitzen. Dies ist aber nicht der Fall, die Erde besteht aus Wasser und Land, und wenn wir diejenigen Punkte der Erdoberfläche, welche gleiche mittlere Jahrestemperatur haben, mit Linien verbinden, so bemerken wir, daß diese fast nirgends mit den Parallelkreisen zusammenfallen. Humboldt hat zuerst die Verzeichnung solcher Linien, die er Isothermen (von ἴσος gleich und θερμός warm) nennt, auf einer Charte ausgeführt.

Die Abweichungen der isothermischen Linien von den Parallelkreisen rühren hauptsächlich von der ungleichen Vertheilung von Wasser und Land her. Wir haben früher gesehen, daß diese beiden Substanzen weder in der Art der Erwärmung, noch des Erkaltens oder der Wärmeabgabe an ihre Umgebung mit einander übereinstimmen. Außerdem wird der Lauf der Isothermen durch die Richtung der Gebirgszüge, die vorherrschenden Winde, durch die Hydrometeore, ganz besonders aber durch die Meeresströmungen bedingt, welch' letztere wir nun etwas näher betrachten wollen, da von ihnen früher noch nicht die Rede war.

2. Die Meeresströmungen.

Die Masse des Meeres wird nicht blos durch die Winde und den Wellenschlag bewegt, es gibt constante Strömungen mitten im Meere. Man kann sie mit den Flüssen des Landes vergleichen, nur daß ihre Ufer nicht aus festem Erdreich, sondern aus Wasser bestehen. Suchen wir die Ursachen der Meeresströmungen auf.

In der Gegend des Aequators, wo die Sonne zweimal im Jahr senkrecht über der Erde steht, wird die größte Hitze erzeugt; es muß deßhalb auch das Meer dort eine Temperatur annehmen, welche die in andern Breiten übersteigt.

Indem die Wassermasse am Aequator erwärmt wird, dehnt sie sich aus, sie erlangt eine größere Höhe. Letztere bedingt nach dem Gesetz der Schwere und des Gleichgewichts ein Abfließen nach denjenigen Flächen, deren Niveau niedriger liegt; das erwärmte Wasser wird also seinen Zug nach Norden und Süden nehmen.

Allein die Richtung des Abflusses steht nicht senkrecht auf den Aequator; die Passatwinde, welche in einem Gürtel um den Aequator Jahr aus, Jahr ein in östlicher Richtung wehen, treiben das Wasser nach Westen hin. Wir werden später ausführlich von diesen Winden reden.

A. Aequatorialstrom im Atlantischen Ocean.

Die Wassermasse, welche unter dem Aequator im Atlantischen Weltmeer zwischen Afrika und Amerika erwärmt wird, wendet sich, unter dem Einfluß der Passatwinde zuerst rein westlich. Sobald sie an die Küste von Südamerika anstößt, theilt sie sich in zwei Arme, von denen der eine nach Norden, der andere nach Süden seinen Lauf nimmt.

a. Golfstrom.

Der nördliche Arm verfolgt zuerst die nordöstliche Küste von Südamerika, dann tritt er in das Caraibische Meer und durch die Straße von Yucatan in den Mexikanischen Meerbusen ein, dessen Küsten er fortwährend begleitet, bis er sich zwischen Florida und Cuba wieder in das offene Atlantische Meer ergießt. Dabei schließt er sich bis 38°—39° Breite noch an die östliche Küste von Nordamerika an; von dort an wendet er sich aber östlich. Er gelangt nach der Bank von Neufundland und von da nach den Azoren. Jetzt wird seine Richtung wieder südlich, bis er an die Stelle gelangt, von der er seinen Ursprung genommen hat. Nach seinem Austritt aus dem Mexikanischen Meerbusen führt dieser Arm des Aequatorialstromes den Namen „Golfstrom".

Doch nicht die gesammte Wassermenge des Golfstroms kehrt in den Aequatorialstrom zurück; ein nicht unbeträchtlicher Theil wird weiter vorwärts getrieben und gelangt an die Küsten von Irland, Norwegen, Island und Spitzbergen, ja selbst noch bis nach Novaja Semlja. In diese Gegenden

bringt der Golfstrom Früchte aus südlichen Klimaten und große Mengen von Treibholz. Im fünfzehnten Jahrhundert wurden Leichname von Indianern an die Küsten der Azoren ausgeworfen. Dieser Umstand bestärkte bekanntlich Columbus in seiner Meinung, daß westwärts noch ein bewohntes Land liegen müsse. 1682 wurde sogar ein Kahn mit Eskimo's an die Küste von Schottland getrieben.

Der Aequatorialstrom besitzt an der Küste von Afrika eine Geschwindigkeit von 10 geographischen Meilen in 24 Stunden (bei den Inseln St. Thomas und Annabon) und eine Temperatur von 23°. Diese Geschwindigkeit, vermehrt sich aber, je weiter er vordringt, weil beschleunigende Kräfte auf sie einwirken, während die Temperatur des Stromwassers gleichfalls steigt. An der nördlichen Küste von Südamerika legt der Strom 17 geographische Meilen in 24 Stunden zurück; seine Wärme beträgt hier 28°. Im Caraibischen Meere soll seine Temperatur auf 32° steigen (Berghaus), was aber zu bezweifeln ist.

Sobald der Golfstrom in das offene Meer eintritt, nimmt seine Breite zu, aber in dem nämlichen Verhältnisse vermindert sich die Geschwindigkeit seines Laufes. Auch seine Temperatur muß sich erniedrigen, doch geschieht dies nur allmählig; in 40°—41° nördlichen Breite beträgt sie noch 22,°5, während die des Meeres außerhalb nur 17°,5 ausmacht. Neufundland, welches vom Golfstrom nur berührt wird, hat eine Temperatur von 8 Graden, der Golfstrom selbst besitzt aber in der Nähe der Bank noch eine Temperatur von 16 Graden; daher entstehen die dicken, undurchsichtigen Nebel, mit denen die Bank von Neufundland den größern Theil des Jahres bedeckt ist.

b. Brasilianische Strömung.

Der südliche Arm des Aequatorialstroms fließt an der Küste von Brasilien hin und ist bis zur Ausmündung des Rio de la Plata noch deutlich wahrnehmbar. Hierauf wendet er sich aber östlich und geht um das Vorgebirge der guten Hoffnung herum.

B. Kaltwasserströme im Atlantischen Ocean.

Die Wasserleere, welche am Aequator durch den Abfluß nach Norden und Süden (Golfstrom und Brasilianische Strömung) bewirkt wird, muß, wenn das Gleichgewicht nicht gestört werden soll, durch Zufluß wieder ausgeglichen werden. Ein solcher findet theils in der Tiefe des Meeres, theils aber auch an dessen Oberfläche statt.

a. Labradorstrom.

Das nördliche Eismeer sendet einen Strom kalten Wassers nach dem Süden hin. Er ist in der Gegend von Spitzbergen bemerkbar, passirt mit schon größerer Geschwindigkeit die Küste von Grönland und vereinigt sich mit

einem aus der Hudsonsbay kommenden kalten Strom. Längs der Ostküste von Nordamerika fließend, keilt er sich zwischen diese und den Golfstrom und bewirkt dadurch hauptsächlich dessen Ablenkung nach den Europäischen Küsten. Der Labradorstrom setzt sich bis zum 40ten Breitegrad fort; in manchen Jahren treiben Eisschollen bis in diese Gegenden. Wir werden später sehen, daß die Temperatur der Ostküste Nordamerika's überall da erniedrigt ist, wo der Kaltwasserstrom fließt.

b. **Guineastrom.**

Er beginnt zwischen den Azoren und der Portugisischen Küste, bewegt sich von Norden nach Süden an der Afrikanischen Küste her, berührt die Inseln des grünen Vorgebirges und biegt dann in den Meerbusen von Guinea ein, wo er sich mit dem Aequatorialstrom vereinigt. Da der Guineastrom an seinem Ursprung mit dem Golfstrom in Verbindung steht, so vermittelt er den Kreislauf des Wassers im nördlichen Atlantischen Ocean. Nach einer ungefähren Rechnung braucht ein Wassertropfen, welcher an der Westküste Afrikas seinen Lauf beginnt, drei Jahre, um durch den Aequatorialstrom, den Golfstrom und den Guineastrom bis zu der nämlichen Stelle zurückzugelangen.

c. **Kapstrom.**

Dieser Strom kommt eigentlich aus dem Indischen Meer. Er geht durch die Straße von Mozambik zwischen der Ostküste von Afrika und der Insel Madagaskar hindurch, biegt um das Cap der guten Hoffnung und begleitet dann die Westküste Afrika's bis zum Meerbusen von Guinea, wo er sich zusammen mit dem Guineastrom in den Aequatortialstrom des Atlantischen Oceans ergießt.

d. **Cap-Horn-Strömung.**

Sie entsteht im südlichen Eismeer, geht am Cap Horn vorbei und bringt bis zum Rio de la Plata, jedoch in unbedeutender Stärke, vor, so daß sie der Brasilianischen Strömung geradezu entgegengesetzt ist.

C. **Warmer Aequatorialstrom im Großen Ocean.**

Im Großen Ocean wird zwischen den Wendekreisen das Wasser gerade so erwärmt, wie im Atlantischen Weltmeer; die Passate treiben es in der Richtung von Osten nach Westen fort. An den Polynesischen Inseln vielfach zersplittert, gelangt dieser Strom südwärts in das Indische Meer, während er nach Norden hin die Küsten von Japan bespült.

D. **Kaltwasserströme im Großen Ocean.**

Die durch den Aequatorialstrom im Großen Ocean verursachte Wasserleere zwischen den Wendekreisen wird durch zwei Kaltwasserströme ersetzt, nämlich

a) durch die Mexikanische Strömung.

Sie zieht in nordsüdlicher Richtung an der Küste von Californien und Mexiko vorbei.

b) Durch den großen Perustrom.

Er nimmt seinen Ursprung im südlichen Eismeer und begleitet die Westküste Südamerika's bis nahe an den Aequator. Sowohl durch Geschwindigkeit, als auch durch die Kälte des Wassers ist dieser Strom ausgezeichnet. Humboldt fand in der Breite von Callao seine Temperatur gleich 15°,5, während die des Meeres außerhalb der Strömung 26°—28°,5 betrug.

3. Nähere Deutung des Laufs der Isothermen.

Wenn man eine Karte ansieht, auf welcher die isothermischen Linien verzeichnet sind, so bemerkt man folgendes:

a) In der Nähe des Aequators sowie im Allgemeinen auf der südlichen Halbkugel stimmen die Isothermen noch am meisten mit den Parallelkreisen überein.

Das erstere erklärt sich aus dem schon früher gewonnenen Resultat, daß innerhalb der Wendekreise sowohl die täglichen, als auch die jährlichen Temperaturextreme nicht so weit auseinanderliegen, als in der gemäßigten Zone. Verschiedenheiten in der Erwärmung des Meeres und des festen Landes können daher dort auch nicht so bedeutend werden.

Was den zweiten Punkt anlangt, so hat dieser in dem Vorherrschen des Wassers auf der südlichen Halbkugel seinen Grund. Wir haben hier einen gleichartigen Körper, der sich gleichmäßig erwärmt. Fänden die Meeresströmungen nicht statt, so würden die Isothermen auf der südlichen Halbkugel, soweit sie nicht über das Land gehen, völlig mit den Parallelkreisen zusammenfallen.

b) Im Allgemeinen gilt das Gesetz, daß die Isothermen im Innern der Festländer sich senken, dagegen im Meere wieder höher steigen.

Dies will nichts anders sagen, als daß unter einerlei Breite die Luft über dem Meer eine größere mittlere Jahrestemperatur hat, als Orte auf dem Lande. Wir bemerkten schon früher (S. 205.), daß das Seeklima zwar durch kühlere Sommer, aber auch durch wärmere Winter ausgezeichnet ist; der eben angedeutete Verlauf der Isothermen beweist, daß die Temperaturerniedrigung im Sommer durch die Temperaturerhöhung im Winter überwogen, daß also durch die Nähe der See der mittlern Jahrestemperatur ein höherer Werth verliehen wird.

Den Einfluß großer Wasserflächen auf die Wärme einer Gegend bemerkt man sehr deutlich an den großen Seen im Innern Nordamerika's.

In der Nähe dieser Seen hebt sich die Isotherme von 5° in auffallender Weise; sie fällt nach der Ostküste dieses Continentes um 36 Meilen.

c) Abgesehen von einigen Störungen, deren Ursache wir in den Meeresströmungen erblicken, gehen die Isothermen an den Westküsten der Continente und Inseln höher hinauf, als an den Ostküsten, d. h. die Westküsten haben unter gleicher geographischer Breite eine höhere mittlere Jahrestemperatur, als die Ostküsten.

Wie wir später bei der Betrachtung des Regens und der Winde sehen werden, erzeugt die am Aequator aufsteigende warme Luftsäule bei ihrem Vordringen nach den Polen in der nördlichen Halbkugel einen Südwestwind, in der südlichen Hemisphäre aber einen Nordwestwind. Dieser Wind, welcher aus den heißesten Gegenden der Erde stammt, besitzt eine hohe Temperatur. Er führt gewöhnlich, weil er über ausgedehnte Meeresflächen hinstreicht, große Mengen von Feuchtigkeit mit sich, denen gleichfalls eine höhere Temperatur eigen ist.

Begreiflicher Weise muß der Südwest- und Nordwestwind in den beiden Hemisphären immer zuerst die Westküste der Länder treffen. Ergibt an diese Wärme ab, theils indem er sich mit der Luft über den Küsten mischt, theils aber auch, indem seine Feuchtigkeit über dem kältern Lande sich verdichtet und als Regen zu Boden sinkt. Die Temperatur der Westwinde wird übrigens um so mehr erniedrigt, je weiter sie in das Innere der Continente vordringen, und wenn hohe Gebirgsrücken sich ihnen entgegenstemmen, an denen sich die Feuchtigkeit vorzugsweise absetzt. So ist es zum Beispiel mit dem Ural, welcher die Grenze zwischen Europa und Asien bildet, der Fall; jenseits dieses Gebirges sinken die Isothermen sehr rasch nach dem Innern des Asiatischen Festlandes.

Die Ostküste von Nordamerika, also diejenige Seite des Landes, welche zuerst von Europa aus kultivirt wurde, ist bis zum fünfunddreißigsten Grad der Breite verhältnißmäßig viel kälter, als die Westküste von Europa, wie die folgende Zusammenstellung zeigt.

Nördl. Breite.	Ostküste von Nordamerika.	Westküste von Europa.
	Mittlere Jahrestemperatur.	
25°	24°,30	22°,71
30	22,44	21,40
35	18,54	18,68
40	12,94	16,91
45	5,94	13,38
50	1,90	10,68
55	— 1,76	7,97
60	— 5,60	4,99
65	— 9,60	0,65
70	— 15,70	0,10
75	— 18,9	—

Nordamerika verdankt die höhere Temperatur seiner Ostküste vom fünfunddreißigsten Grad der Breite an nur der Wärme des Golfstroms, welcher diese Küste erst zwischen 38—39 Grad verläßt. Die Wärme dieses Stroms trägt, neben derjenigen der Südwestwinde, auch sehr viel zur höheren Temperatur der Europäischen Westküste bei, und es ist nicht zu läugnen, daß, wie neuerdings ein geistreicher Naturforscher behauptet hat, die mittlere Jahreswärme Europa's um mehrere Grade sinken würde, wenn der Golfstrom, etwa mittelst eines Durchstichs der Landenge von Panama, einem Abfluß in den Großen Ocean finden sollte.

Die Temperatur der Ostküste Nordamerika's wird aber noch durch die Kälte des Labradorstromes deprimirt. In manchen Jahren dringt dieser sehr weit südwärts vor. „So fiel im Jahr 1842 in Süd-Carolina die Baumwollenerndte schlecht aus, weil eine beträchtliche Anzahl ungewöhnlich großer Eisberge von der Hudsonsbay und der Baffinsbay nach Süden herabgeschwommen war und die See, sowie die Luft in jener Gegend sehr abgekühlt hatte.“ (Lyell: Reisen in Nordamerika, S. 112).

Die Nordamerikanische Westküste ist wärmer, als die Ostküste, in Folge der Einwirkung der Südwestwinde. Doch gilt dies nicht für die niederen Breiten. Hier zeigt sich eine Erhöhung der mittlern Jahrestemperatur zu Gunsten der Ostküste. Die Ursache dieses Verhaltens tragen der Mexikanische Kaltwasserstrom, der Kalifornien und Mexiko abkühlt, und der Golfstrom, der den südlichen Küsten der Vereinigten Staaten eine höhere Wärme mittheilt.

Folgende Zusammenstellung gibt an, unter welchen Breitegraden die beiden Küsten Nordamerika's von den Isothermen geschnitten werden.

Isotherme von	Westküste	Ostküste
25°	15°42′	22°00
20	27 43	31 38
15	36 15	37 48
10	45 09	40 45
5	53 28	45 26
0	62 38	52 30
— 5	74 52	59 37

Auch die Temperatur Südamerika's zeigt eine Abweichung von der Regel, nach welcher die Ostküste kälter sein soll, als die Westküste. Wir haben früher gesehen, daß an der Küste Brasiliens bis zum Rio de la Plata ein Arm des warmen Aequatorialstromes fließt, während an der Westküste der kalte Perustrom sich bewegt. Daher rührt es denn, daß z. B. die mittlere Jahreswärme von Callao, dem Hafen von Lima, unter 12° südliche Breite nur 20°, diejenige von Rio Janeiro in Brasilien unter 23° südlicher Breite 23°,2 beträgt. Obgleich also Rio Janeiro 11° oder 165 geographische Meilen weiter

vom Aequator entfernt ist, als Lima, hat es doch eine um 3°,2 höhere Jahrestemperatur, als dieses.

In Europa bieten Norwegen und Schweden eine vorzügliche Gelegenheit, um die Temperaturverhältnisse der Ost- und Westküsten zu prüfen.

	N. Breite.	Mittl. Jahrestemp.
Bergen (Norw.)	60°23′	6°,67
Söndmör (Norw.)	62°30′	5°,28
Drontheim (Norw.)	63°26′	4°,29
Upsula (Schweden)	59°52′	5°,2
Falun (Schweden)	60°39′	4°,4
Umeå (Schweden)	63°50′	1°,96

Die Zahlen sprechen sehr deutlich aus, daß die Westküste Scandinaviens wärmer ist, als die Ostküste.

d) Der Wärme-Aequator — so nennt man diejenige Linie, welche die Punkte der größten Jahreswärme auf der Erde mit einander verbindet — fällt nicht mit dem Erd-Aequator zusammen.

Der Wärmeäquator liegt größtentheils auf der nördlichen Halbkugel, wahrscheinlich deshalb, weil diese mehr Land enthält, als die südliche Hemisphäre. Das Land erwärmt sich im Sommer viel stärker, als die See; freilich strahlt es im Winter auch mehr Wärme aus; man bedenke indessen, daß dieser Verlust in der heißen Zone nicht bedeutend sein kann, weil dort die Temperaturen des Sommers und Winters nur um einige Grade differiren. Der Wärmeäquator erreicht im Atlantischen Ocean seine größte Höhe an den Westindischen Inseln, senkt sich hierauf durch das Atlantische Meer hin bis an die Küste von Guinea, steigt wieder in dem innern Afrika, von wo aus er sich bis fast nach Ostindien auf gleicher Höhe hält, fällt bei den Molucken, wo er den Erdäquator schneidet, unter welchem er bis 155° westlich von Paris bleibt, und hebt sich dann wieder nach den Westindischen Inseln hin.

Die mittlere Temperatur des terrestrischen Aequators beträgt 28°,3, wobei angenommen ist, die ganze Wärme dieser Linie sei auf alle ihre Punkte gleichförmig vertheilt.

e) Der Nordpol ist nicht der kälteste Punkt der nördlichen Halbkugel.

Es besteht vielmehr, nach Dove, ein kältester Fleck, welcher im Jahresmittel sich von der Melvilleinsel nach dem Eiskap hin erstreckt, ohne dasselbe zu erreichen oder den Pol zu berühren. Vom Januar zum Juli wandert der Kältepol von Asien nach Amerika und kehrt in der zweiten Hälfte des Jahres nach Asien zurück. Ueber die Temperatur des südlichen Polarkreises ist nichts Näheres bekannt.

Brewster nahm zwei Kältepole an; einer befinde sich im Norden von Amerika und habe eine Temperatur von — 19°,7, der andere über Asien

mit — 17°,2. Zu dieser Unterstellung gab der Umstand Veranlassung, daß die isothermischen Linien sich um so mehr krümmen, je näher sie dem Pol kommen. Sie bilden zuletzt zwei getrennte Aeste, die sich gar nicht mehr berühren. Allein dieses Verhalten ist doch nur ein scheinbares und verschwindet, wie Dove gezeigt hat, wenn man die Erde in der Polarprojection verzeichnet und die Isothermen hinreichend verlängert.

f. Die Temperatur der südlichen Halbkugel ist niedriger, als die der nördlichen.

Zur Vergleichung mögen folgende Zahlen dienen:

	Jahreswärme.	
Breite.	Nördl. Halbkugel.	Südliche Halbkugel.
0°	26°,5	26°,5
10	26,6	25,5
20	25,2	23,4
30	21,0	19,4
40	13,6	12,5

Diese Thatsache wurde schon früher geahnt, ist aber erst in der letzten Zeit zur Evidenz bewiesen worden, seitdem eine größere Anzahl von Temperaturuntersuchungen auf der südlichen Halbkugel bekannt geworden ist. Die geringere Wärme der südlichen Hemisphäre wollte man anfangs von der kürzern Dauer ihres Sommers herleiten. (Der Unterschied beträgt ungefähr eine Woche und wird bekanntlich durch das Vorrücken der Tag- und Nachtgleichen und die Bewegung der Absidenlinie der Sonnenbahn bewirkt, vermöge welcher die Punkte der kleinsten und größten Entfernung der Sonne von der Erde nicht immer auf dieselben Punkte der Ekliptik zu liegen kommen). Doch scheint dieser Umstand nicht von großer Bedeutung zu sein. Richtiger ist folgende Erklärung: Die nördliche Halbkugel ist gegen den Pol hin fast allerwärts von Land umschlossen, die kalten Wasserströme und Eisschollen der arctischen Zone können nur auf der Wasserstraße, die zwischen Grönland und Spitzbergen sich hinzieht und durch die Inseln Spitzbergen und Island unterbrochen ist, nach Süden vordringen, denn die Behringsstraße zwischen Ost-Asien und West-Amerika ist wohl zu enge, um bedeutende Wassermassen durchzulassen und kann deßhalb hier nicht in Betracht gezogen werden. Dagegen ist der Süden überall frei; die Eisberge des Südpolarmeeres können ungehindert bis an den Aequator vordringen, und die nach Süden zugespitzte Gestalt des alten und des neuen Continentes, welche von einer größern Ausbreitung des Meeres nach Süden hin begleitet ist, gibt ihnen vollständig Raum, sich nach allen Seiten hin zu vertheilen.

Auch die Meeresströmungen mögen Manches zur höhern Temperirung unserer Hemisphäre beitragen. Der warme Aequatorialstrom dringt nämlich seiner größern Masse nach in nördliche Gegenden; ein Arm, der südlich geht,

verschwindet schon in 40° südlicher Breite, während an der Westküste von Südamerika der kalte Perustrom sich hinzieht und das Feuerland gleichfalls von einem Polarstrom umspült ist.

Dove berechnet die Mitteltemperatur der nördlichen Halbkugel zu 15,°5, die der südlichen Halbkugel zu 13,°6. Er schreibt diese ungleiche Vertheilung der Wärme dem Umstande zu, daß auf der südlichen Erdhälfte sich mehr Wasserdampf entwickele, welcher vorzugsweise auf der nördlichen Halbkugel zur Condensation gelange, und hier seine latente Wärme abgebe. Sonach müßte auch die Regenmenge auf der nördlichen Erdhälfte größer sein, als auf der südlichen.

g. **Die Wärmeabnahme, welche vom Aequator nach dem Pol hin stattfindet, erreicht ihren höchsten Werth zwischen dem vierzigsten und fünfzigsten Breitegrad.**

Sie beträgt

zwischen	0°—10°,	10—20,	20—30,	30—40,	40—50,	50—60,	60—70,	70—80,	80—90
Temp.Gr.	—0°,12	1,4	4,2	7,4	8,2	6,4	7,9	5,1	2,2

Anmerkung. Die Mitteltemperatur der ganzen Erde findet Dove = 14°,6 Cels. Die Gesammtwärme, welche an der Erdoberfläche das Jahr über herrscht, würde hinreichen, um eine Eisschicht von 14 Metern Höhe, mit welcher man sich die Erde bedeckt zu denken hat, zu schmelzen.

4. Die Isochimenen.

a. **Begriff.**

Als wir die Isothermlinien zogen, betrachteten wir die Vertheilung der Wärme auf das ganze Jahr, mit einem Worte, den Totaleffect, welchen die Wärme erzeugt, wenn man die Temperaturen der verschiedenen Jahreszeiten auf einander ausgleicht.

Diese Darstellungsweise verschafft uns allerdings einen Ueberblick über das Klima im Ganzen, in so fern dieses aus dem Zusammenwirken verschiedener Factoren (hier der Wärme) entspringt. Allein sie reicht nicht aus, wenn es sich darum handelt, den Einfluß der Wärme auf die Vegetation zu ermitteln. Das Gedeihen der Gewächse hängt nämlich viel weniger von der mittleren Jahrestemperatur, als vielmehr von der Wärme der Jahreszeiten ab.

Unter Isochimenen (von ἴσος gleich und χειμὼν Winter) versteht man Linien, welche diejenigen Orte verbinden, denen die nämliche Wintertemperatur zukommt. Zum Winter rechnet man aber klimatologisch die Monate December, Januar und Februar.

b. **Lauf der Isochimenen.**

Man kann die Isochimenen als Curven bezeichnen, welche den Isothermen ähnlich sind; nur finden wir bei den erstern alle südlichen Biegungen viel

stärker ausgeprägt. So hat z. B. die Isochimene von 0° fast die nämliche Gestalt, wie die Isotherme von 0°, allein diese schneidet Amerika noch unterhalb der großen Seen, jene erst in Labrador. Beide heben sich an der Küste von Norwegen bedeutend nordwärts und sinken dann wieder im Innern von Rußland und Asien, beide heben sich, wenn sie sich von der Ostküste Asiens zur Westküste Amerika's wenden.

Im Innern der Festländer biegen sich die Isochimenen stark nach dem Aequator hin, was in der stärkeren Abkühlung des Bodens, im Vergleich mit der See, seinen Grund hat.

5. Isotheren.

a. Begriff.

Isotheren nennt man die Linien, welche Orte mit gleicher Sommerwärme verbinden (von θέρος Sommer). Zum Sommer rechnet man klimatologisch die Monate Juni, Juli und August.

b. Lauf der Isotheren.

Da die Isochimenen im Innern der Continente sich nach dem Aequator biegen, die Isothermen aber nicht so tief herabsinken, so müssen an der respectiven Hebung der letztern die Isotheren schuld sein. In der That finden wir, daß die Isotheren im Innern der Länder aufwärts steigen und nach dem Meere hin sich senken.

So hat das durch seine verhältnißmäßig hohe mittlere Jahrestemperatur ausgezeichnete England kühlere Sommer, als viele Orte in Scandinavien, welche 10° nördlicher gelegen sind.

Die Insel Man (in 54° 12′ nördlicher Breite, welche eine höhere mittlere Jahrestemperatur (9°,97) besitzt, als Krakau (in 50° 04′ Breite, mit 8°,0 Jahreswärme), hat doch eine geringere Sommertemperatur (15°,1) als Drontheim (in 63° 26′ Breite mit 16°,33 S.-Temp.)

Der Lauf der Isotheren im Innern von Asien läßt eine Ausnahme von der vorhin aufgestellten Regel wahrnehmen. Sie beginnen nämlich dort wieder etwas zu fallen. Dies rührt von den kalten Luftströmungen her, welche von den hohen Gebirgen Central-Asiens (Himalaya u. s. w.) wehen. Die aus dem Indischen Meere kommenden Südwestwinde setzen an den schneebedeckten Gipfeln der genannten Gebirgskette ihre Feuchtigkeit ab und verlieren mit dieser einen großen Theil ihrer Wärme, so daß sie in die Asiatischen Steppen als kalte Winde gelangen.

Das auffallend starke Ansteigen der Isotheren im Norden von Europa erklärt sich sehr einfach durch die längere Dauer des Sommer-Tages in höhern Breiten.

6. Monatsisothermen.

a. Begriff.

Unter den Monatsisothermen versteht man Linien, welche die Orte gleicher monatlicher Wärme verbinden. Diese, von Dove eingeführte Benennung ist sprachlich nicht ganz richtig, weil man unter Isothermen schon die Linien gleicher Jahreswärme begreift.

b. Lauf der Monatsisothermen.

Auf die Grundlage einer größern Anzahl von Temperaturbeobachtungen und mit Hülfe von Interpolationen hat Dove den Lauf der Monatsisothermen dargestellt. Diese Linien schließen sich, was die kälteren Monate betrifft, den Isochimenen, hinsichtlich der wärmern Monate aber mehr den Isotheren an. Die Linien für die Herbst- und Frühlingsmonate bilden die Uebergänge zwischen beiden.

7. Temperatur des Bodens.

a. Temperatur der Bodenoberfläche im Sonnenschein.

Die Erde erwärmt sich vermöge ihrer großen Absorptionsfähigkeit für die Sonnenstrahlen viel stärker, als die Luft, welche den letztern größtentheils Durchgang gestattet und ihre Wärme hauptsächlich erst wieder vom Boden durch Leitung oder Strahlung empfängt. Schübler stellte darüber Beobachtungen in den Jahren 1828 und 1829 zu Tübingen an. Er brachte ein Thermometer, von weißem Glase angefertigt, unmittelbar an den Boden, bedeckte aber dessen Kugel eine Linie stark mit Erde. Die Angaben dieses Instrumentes wurden zwischen 12 und 1 Uhr notirt.

Monate	Temperatur der Erdoberfläche im Sonnenschein	Temperatur der Luft im Schatten	Unterschied
Januar	12,2	— 4,1	16,3
Februar	30,1	6,1	24,0
März	37,5	8,1	29,4
April	49,7	16,5	33,2
Mai	55,1	19,6	35,5
Juni	59,7	24,0	35,7
Juli	63,5	27,4	36,1
August	54,5	20,5	34,0
September	48,7	20,0	28,7
October	27,1	6,0	21,1
November	22,6	4,5	18,1
December	15,1	2,0	17,1
Mittel	39,6	12,9	26,7

Man sieht aus diesen Zahlen, daß das Temperatur-Minimum und Maximum des Bodens, wie das der Luft, in den Januar und Juli fällt.

Die höchste Wärme der Erdoberfläche, welche Schübler beobachtet hat, fiel auf den 16. Juli des Jahres 1828; sie betrug 67°,5 Cels. bei 25°,6 Luftwärme im Schatten. Wessely will in den unteren Regionen der Alpen Temperaturen bis zu 65°,0 in den oberen bis zu 40° beobachtet haben.

B. Temperatur des Bodens in der Tiefe.

Die Oberfläche des Bodens wird sowohl durch die Sonnenstrahlen, als auch durch die Luft, welche mit ihr in Berührung ist, erwärmt; die Temperatur pflanzt sich durch Leitung bis in die tieferen Bodenschichten fort. Da aber die Erde ein schlechter Wärmeleiter ist, so wird eine an ihrer Oberfläche bewirkte Temperaturerhöhung sich nicht momentan den untern Schichten mittheilen. Indem die Wärme von Partikelchen zu Partikelchen übergeht, braucht sie Zeit, und zwar um so mehr, je weiter der Punkt von der Oberfläche entfernt ist. Daher kommt es denn, daß eine an der Oberfläche des Bodens stattfindende Zunahme oder Abnahme der Temperatur nicht auch sogleich in der Tiefe wahrgenommen wird. So wird der Eintritt des täglichen Temperaturmaximums der Luft 1 Decimeter unter der Bodenoberfläche 3 Stunden später bemerkt. In noch größern Tiefen bleibt die Temperatur um einen weit längern Zeitraum hinter der Lufttemperatur zurück. Es fand Quetelet in Brüssel

in der Tiefe von	das jährl. Maximum	das jährl. Minimum
0 Metern	am 22. Juli	23. Januar
0,19	„ 27. „	3. Februar
0,45	„ 31. „	11. „
0,75	„ 5. August	22. „
1,00	„ 8. „	25. „
3,90	„ 12. October	22. April
7,80	„ 12. December	18. Juni

In einer Tiefe von 8 Metern treten demnach die jährl. Temperatur-Maxima und Minima fast ein volles Halbjahr später ein, als an der Oberfläche des Bodens. Doch verursachen auch die Materialien, aus denen der Boden besteht, einige Unterschiede, wie man aus den nachstehenden Beobachtungen von Forbes in Edinburg ersieht.

Bodenart. Das Temperaturmaximum trat ein

	in 1,0	1,9	3,9	7,8 Metern Tiefe
Sandstein	am 5. August	19. August	11. September	11. November
Dolerit	am 6. „	2. Sept.	17. October	8. Januar
Sand	am 31. Juli	24. August	7. „	30. December

Der poröse Dolerit leitet also die Wärme nicht so gut, wie der dichtere Sandstein. Auch der lose Sand bildet einen schlechten Wärmeleiter; die Anoma-

lien, welche er bis zu 1 Meter Tiefe zeigt, rühren wahrscheinlich von dem Eindringen der Luft und des Wassers in seine Zwischenräume her.

Die Unterschiede der täglichen Temperatur verschwinden in unsern Gegenden schon in $\frac{1}{2}$ Meter Tiefe. Wenn man ein Thermometer $\frac{1}{2}$ Meter tief in den Boden einsenkt, so hält sich dieses von einem Tag zum andern stationär; erst nach Verlauf von mehreren Tagen gibt es die, schon bedeutenderen, Temperaturveränderungen an. In der Tiefe von 1 Meter verschwinden selbst die wöchentlichen und in 2 Metern die monatlichen Temperaturdifferenzen. In acht Metern Tiefe bemerkt man nur noch die jährlichen Maxima und Minima und in 20—24 Metern bleibt die Temperatur das ganze Jahr hindurch eine und dieselbe. Im Keller des Observatoriums zu Paris befindet sich 27,6 Meter unter der Oberfläche des Bodens, ein Thermometer, welches 1773 von Lavoisier dort aufgestellt wurde und seit dieser Zeit fortwährend die constante Temperatur von 11°,82 zeigt. Innerhalb der Tropen trifft man aber schon in einer Tiefe von $\frac{1}{2}$—$\frac{3}{4}$ Metern eine constante Temperatur an.

Indessen ist die Wärme des Bodens an der Stelle, wo die jährlichen Aenderungen verschwinden, nicht gleich der mittlern Jahrestemperatur der Luft an der Bodenoberfläche. Die Bodenwärme behauptet einen etwas größern Werth in Folge des Einflusses, den die Centralwärme des gegenwärtig noch heißflüssigen Erdkernes auf die feste Rinde unseres Planeten äußert.

Genaue Untersuchungen haben ergeben, daß die Wärme um so mehr zunimmt, als man sich, von der Erdoberfläche ausgehend, dem Erdmittelpunkt nähert.

So fand man in Bohrlöchern zu Pregny bei Genf (Pregny liegt 1400 Fuß über dem Meeresspiegel) und zu Rüdersdorf in der Mark Brandenburg folgende Temperaturen:

Tiefe unter der Bodenoberfläche	Pregny	Unterschied	Tiefe unter der Bodenoberfläche	Rüdersdorf	Unterschied
0 Meter	9°,750		0 Meter	8°,50	
9 „	10,500		25 „	10,00	
19 „	10,625		62 „	13,44	1,49
31 „	11,000	0,875	93 „	14,93	
62 „	11,875		124 „	10,36	1,43
93 „	13,125	1,250	155 „	17,75	1,39
124 „	14,212	1,087	186 „	19,12	1,37
155 „	15,250	1,038	217 „	20,73	1,61
186 „	16,312	1,062	248 „	22,34	1,61
211 „	17,250		273 „	23,50	

Wir sehen also, daß die Temperatur in geradem Verhältnisse mit der Tiefe zunimmt. Nach dem Mittel aus den vorzüglichsten Beobachtungen muß man 31 Meter oder 100 Pariser Fuß tief hinab steigen, damit sich die Tem-

peratur um 1° Celſ. erhöhe. Doch findet man auch Unterſchiede, je nach der Natur des Bodens.

Das Geſetz der Wärmezunahme mit der Tiefe fand man ſogar in dem gefrornen Boden von Jakuzk in Sibirien beſtätigt. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt daſelbſt —9°,7; im Sommer thaut der Boden nur bis zu ¾ Metern Tiefe auf. Im Jahr 1830 legte Ermann hier einen Brunnenſchacht an, der aber erſt 1837 beendigt wurde. Man fand

in 15 Metern	Tiefe		—6°,9
„ 23	„	„	—5,0
„ 36	„	„	—2,5
„ 116	„	„	—0,6

Nehmen wir an, das Geſetz der Wärmezunahme gelte auch für ſolche Tiefen, bis zu welchen man noch nicht gelangt iſt. Berechnen wir hiernach, wie tief man in die Erde einzudringen hat, um Waſſer ſiedend und Eiſen geſchmolzen anzutreffen.

Der Siedepunkt des Waſſers liegt bei 100°. Geſetzt, das Waſſer an der Erdoberfläche habe eine Temperatur von 0°, ſo würde in 31.100=3100 Metern Tiefe das Waſſer ſieden müſſen. 3100 Meter ſind aber etwas mehr, als eine habe Meile. — Das Eiſen ſchmilzt bei 1200°; um an den Punkt zu gelangen, wo dieſes geſchieht, müßte man alſo 31.1200=37200 Meter (etwas über fünf Meilen) tief unter die Erdoberfläche hinabzuſteigen haben. Man ſieht hieraus, daß die feſte Kruſte nur einen kleinen Theil der Maſſe unſeres Planeten ausmacht und daß der größere Theil der Erde in heißflüſſigem Zuſtande ſich befinden muß.

Da die Temperatur des Bodens in einiger Tiefe (20—24 Metern) ſtationär iſt, ſo hat man vorgeſchlagen, die mittlere Jahrestemperatur eines Ortes aus der Temperatur ſeiner Quellen, die aus einer ſolchen Tiefe aufſteigen, abzuleiten. Dieſes Verfahren, obgleich es nur eine einzige Beobachtung erfordert, iſt indeſſen nicht ſehr empfehlenswerth, denn es macht ſich in der Tiefe, in welcher die Unterſchiede der jährlichen Wärme zu verſchwinden anfangen, ſchon der Einfluß der innern Erdwärme geltend, wie aus den nachſtehenden Beobachtungen Quetelets in Brüſſel erſichtlich iſt.

Tiefe		Jahresmittel
0	Meter	9°,90
0,58	„	9,71
1,38	„	10,07
2,21	„	10,31
3,08	„	11,16
12,00	„	11,99
24,00	„	11,88

Dann kann man aber nie darüber vollſtändig verſichert ſein, ob denn die Quelle wirklich aus der oben bezeichneten, oder aus einer größern oder ge-

ringern Tiefe komme. Im erstern Falle würde die Quelle eine Therme und ihre Temperatur schon ansehnlich höher, als diejenige der Luft an der Oberfläche des Bodens sein; im andern Falle aber erhielte man, je nach der Beobachtungszeit, schwankende Temperaturen. Das Wasser der gewöhnlichen Senkbrunnen eignet sich am allerwenigsten dazu, um aus seiner Temperatur die mittlere Jahreswärme eines Ortes herzuleiten; diese Brunnen werden von Tagwassern gespeist, deren Temperatur überaus veränderlich ist.

Da unter den Tropen schon in einer Tiefe von $^1/_2$ bis $^3/_4$ Metern die Temperatur des Bodens constant ist, so läßt sich in diesen Gegenden die mittlere Jahrestemperatur noch am ersten durch Beobachtungen der Temperatur des Bodens ermitteln. Die meisten Temperaturangaben, welche uns Boussingault und Humboldt für Orte der heißen Zone mitgetheilt haben, sind auf diesem Wege erlangt worden.

8. Temperaturabnahme mit zunehmender Erhebung über das Meeresniveau.

a. Ursachen dieser Temperaturabnahme.

Es ist eine allgemein bekannte Thatsache, daß die mittlere Jahres-Temperatur um so mehr abnimmt, je weiter man sich von der Erdoberfläche in radialer Richtung entfernt. Gebirgsgegenden sind rauher, als Ebenen, der Winter ist in ihnen nicht allein strenger, sondern er beginnt auch früher und hört später auf. Unter dem Aequator gibt es Berge, welche mit ewigem Schnee bedeckt sind. Luftschiffer müssen sich mit Pelzkleidern versehen, damit ihnen in den höhern Schichten der Atmosphäre die Glieder nicht erfrieren.

Die Temperaturabnahme mit der Erhebung über die Meeresfläche läßt sich folgender Maßen erklären.

α. Die Atmosphäre wird zum Wenigsten durch die Sonnenstrahlen direct erwärmt, da sie nur einen geringen Theil der Wärme, welche diese Strahlen begleitet, absorbirt. Nach den Untersuchungen von Pouillet gelangen wenigstens zwei Drittel der Wärmestrahlen, welche die Sonne unserem Planeten zusendet, auf die Erdoberfläche. Die Luft erwärmt sich hauptsächlich auf Kosten der letztern. Die höhere Temperatur, welche die Erde annimmt, theilt sich der Luft, die mit ihr in Berührung sich befindet, durch Leitung und den entferntern Schichten durch Strahlung mit. Wir haben also die Erdoberfläche als die hauptsächlichste Wärmequelle für die Atmosphäre anzusehen.

Denken wir uns die Erde von lauter concentrischen, ihrer Oberfläche parallelen Flächen umgeben, so werden diese um so weniger stark durch die von der Erde ausgehenden Strahlen erwärmt werden, je weiter sie von dem Erdmittelpunkt entfernt sind. Denn je mehr die Wärmestrahlen in die Höhe dringen, um so stärker divergiren dieselben. Das Maß der Erwärmung für zwei solche Flächen ist dem Quadrate ihrer Entfernungen vom Erdmittelpunkt umgekehrt proportional. Bedeutet r den Erdhalbmesser, bc eine Fläche ganz

Fig. 91.



nahe am Niveau des Meeres, ad eine Fläche in einer Entfernung h von der vorigen, so verhält sich die Erwärmung der Fläche bc zu derjenigen der Fläche ad

$$=(r+h)^2:r^2=r^2+2rh+h^2:r^2$$

und, wenn wir h^2 als sehr klein im Verhältniß zu den beiden vorhergehenden Theilsätzen vernachlässigen

$$=r^2+2rh:r^2=1+\frac{2h}{r}:1$$

Der Erdhalbmesser am Aequator ist =6376851 Metern; es sei h = 4000 Metern, so ist $\frac{2h}{r}$ $=\frac{8000}{6376851}=0{,}00125$ und das obige Verhältniß wird

$$=1{,}00125:1$$

Man sieht, daß diese Ursache für sich allein die rasche Abnahme der Temperatur mit der Erhebung über die Meeresfläche nicht erklären kann.

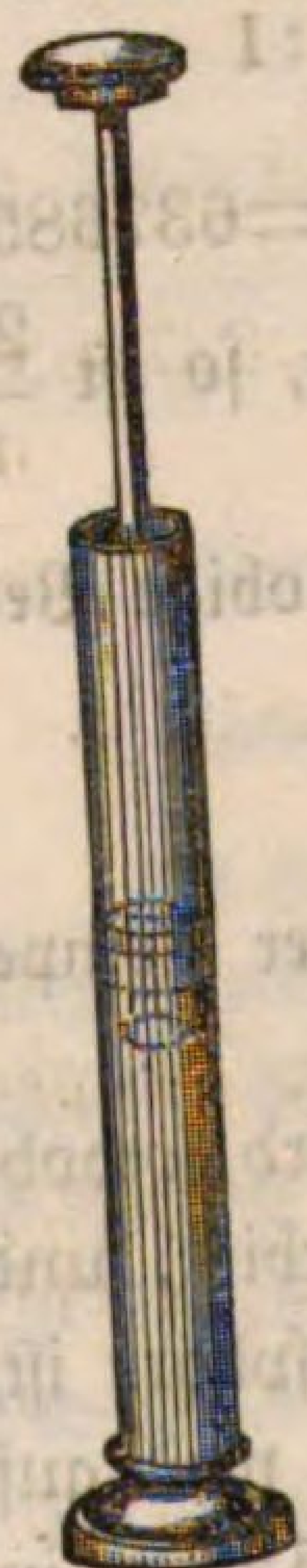
β. Wenn ein Sonnenstrahl die Atmosphäre durchbricht, so wird sowohl ein Theil seiner leuchtenden, als auch seiner wärmenden Kraft absorbirt, und zwar ist die Absorption um so stärker, je dichter der Theil der Atmosphäre ist, welchen er durchdringt. Die untern Luftschichten sind die dichtesten, weil auf ihnen der Druck der obern lastet; die Mathematik lehrt, daß die Dichte in geometrischer Reihe abnimmt, wenn die Höhen in arithmetischem Verhältniß zunehmen.

Es folgt hieraus, daß eine Luftschichte um so weniger von der Wärme der Sonnenstrahlen absorbirt, je weiter sie in vertikaler Richtung von der Meeresfläche entfernt ist, und hieraus wieder die Abnahme der Temperatur in den höhern Regionen des Luftkreises.

Indessen ist hiermit wohl die größere Kälte in der Luft selbst, aber nicht an der Oberfläche der höhern Gebirge erklärt. Da nämlich die Sonnenstrahlen auf diesen weniger geschwächt anlangen, als in den tiefer liegenden Ebenen, so sollte man eher vermuthen, daß die Temperatur auf Bergen höher sei, als am Niveau des Meeres. Dies ist auch in einer Beziehung wirklich der Fall. Wenn man an einem und demselben Tage bei heiterem Himmel die Kugel eines Thermometers in einer Tieflage und auf einem Gebirge der directen Wirkung der Sonnenstrahlen aussetzt, so findet man, daß es im Gebirge höher steigt. Im Schatten beobachtet, zeigt es dagegen eine geringere Temperatur im Gebirg, als in der Ebene. Es muß demnach noch eine Ursache der Temperaturabnahme mit zunehmender Meereshöhe bestehen. Diese möchte wohl in Folgendem beruhen.

γ. Bekanntlich wird, wenn die Dichte eines Körpers durch irgend eine Ursache, z. B. Druck vermehrt wird, Wärme frei. Hierauf beruht u. A. das Erhitzen der Keile, Aexte u. s. w. bei fortgesetztem Gebrauche, ferner die Möglichkeit, zwei Holzstücke zu entzünden, wenn man sie längere Zeit an einander reibt. Die Gase verhalten sich in dieser Hinsicht ebenso, wie die festen Körper, wie mittelst des pneumatischen Feuerzeuges nachgewiesen werden kann. In einen Cylinder von Metall paßt genau ein Stempel, an dessen unterer Fläche ein Stückchen Zunder befestigt ist. Stößt man den Stempel mit Gewalt in den mit Luft gefüllten Hohlcylinder, so wird die Luft comprimirt und die freigewordene Wärme bringt den Zunder zum Glimmen.

Fig. 92.



Ebenso wird aber Wärme gebunden, wenn sich die Dichtigkeit eines Körpers vermindert. Die Wärme, welche der Körper alsdann aufnimmt, dient aber nur zur Volumsvergrößerung, d. h. um die Atome von einander entfernt zu halten; mit dem Thermometer kann sie nicht wahrgenommen werden. Wenn man ein gewisses Luftquantum in dem oben beschriebenen Cylinder (Fig. 92) durch den Stempel sperrt und nun plötzlich den letzten eine Strecke weit in die Höhe zieht, so dehnt sich die Luft in Folge ihrer Elasticität aus, ihr Volumen vermehrt sich, aber in demselben Moment sinkt ihre Temperatur, weil ein Theil ihrer eigenen Wärme latent gemacht wird.

Wenn die am Boden befindlichen Luftschichten durch die Sonne, die Strahlung der Erdoberfläche u. s. w. erwärmt werden, so steigen sie aufwärts, sie bringen ihre Temperatur mit in die Regionen, bis zu welchen sie sich erheben. Aber in diesen sind sie einem geringeren Druck ausgesetzt, sie dehnen sich deßhalb aus und dabei wird ein Theil ihrer freien Wärme latent. Das ist die hauptsächlichste Ursache, welche bewirkt, daß die Luft in der Höhe niemals die Wärme besitzen kann, wie in der Tiefe.

b. Größe der Temperaturabnahme.

Die Höhe, um welche man aufwärts steigen muß, damit das Thermometer um eine bestimmte Größe, z. B. um 1° sinke, ist verschieden nach der Tages- und Jahreszeit, nach der geographischen Breite und Länge, der Configuration des Bodens, der Umgebung 2c.

α. Tageszeit.

Hierüber liegen Beobachtungen vor, welche im Monat Juli auf dem Col du Géant (in 3330 Metern) und zu derselben Zeit in Genf und Chamouni angestellt wurden. Die Größe der Erhebung, welche erforderlich ist, damit das Thermometer um 1° Cels. sinke, fand man

Stunde	Erhebung	Stunde	Erhebung
12 (Mittag)	148 Meter	12 (Mnacht)	171 Meter
2	140 „	2 (nach Mn.)	189 „
4	142 „	4 „	210 „
6	141 „	6 „	195 „
8	143 „	8 „	180 „
10	157 „	10 „	160 „

Aus diesen Zahlen geht hervor, daß die nöthige Erhebung um 2 Uhr des Nachmittags am kleinsten ist, also zu der Zeit, in welcher das Maximum der Temperatur in der Ebene stattfindet. Dieses Verhältniß war vorauszusehen; die Größe der nöthigen Erhebung muß nämlich in dem Maße abnehmen, in welchem der Temperaturunterschied zwischen dem obern und untern Punkte größer wird. Die größte Erhebung ist erforderlich Morgens um 4 Uhr; zu dieser Zeit tritt im Juli das Minimum der Temperatur ein.

β. Jahreszeit.

In den kältern Monaten muß man höher steigen, damit die Temperatur um 1° sinke, als in den wärmeren Monaten. Beobachtungen von d'Aubuisson vom Jahr 1818 auf dem St. Bernhard ergaben:

Monat	Erhebung	Monat	Erhebung
Januar	221 Meter	Juli	142 Meter
Februar	214 „	August	149 „
März	219 „	September	164 „
April	211 „	October	241 „
Mai	222 „	November	201 „
Juni	210 „	December	246 „

γ. Geographische Breite und Länge.

Diese üben in so fern einen Einfluß auf die Temperaturabnahme mit der Erhebung über die Meeresfläche aus, als die Erwärmung der untern und obern Luftschichten für verschiedene Orte eine andere ist, je nach den Winden, der Klarheit der Luft, der Beschaffenheit der Bodenoberfläche, der Nähe der See 2c. Bestimmte Gesetze lassen sich hier im Allgemeinen nicht geben. Es fand die nöthige Erhebung für 1° Temperaturabnahme:

Humboldt	innerhalb der Wendekreise	190 Meter
d'Aubuisson	in den Alpen	203 „
Saussure	das.	175 „
Ramold	in den Alpen	172 „
Gay-Lussac	Paris (auf G.-L. Luftreise)	171 „
Dalton	London	131 „

Klauprecht theilt für Deutschland insbesondere folgende Angaben mit (Klimatologie 150, 151):

Rhön in Franken (Bauer und Schön)	295	Par.	Fuße
Spessart (Klauprecht)	404	„	„
Würtembergische Alp (Schübler)	398	„	„
Fichtelgebirge (Brand)	339	„	„
Fichtelgebirge (Weiß)	419	„	„
Sachsen. Oberwiesenthal	512	„	„
„ Altenburg	440	„	„
„ Freiberg	507	„	„

Die Beobachtungen Humboldt's innerhalb der Aequatorialgegenden haben ergeben, daß die Größe, um welche man sich erheben muß, damit die mittlere Temperatur um 1° abnehme, in den verschiedenen Regionen der Atmosphäre nicht die nämliche ist. Er fand nämlich

von	0	bis	960	Meter die nöthige Erhebung	164	Meter
„	960	„	1920	„ „ „ „	290	„
„	1920	„	2280	„ „ „ „	228	„
„	2280	„	3840	„ „ „ „	129	„
„	3840	„	4800	„ „ „ „	177	„

δ. Configuration des Bodens. Umgebung.

Auf Plateau's scheint nach Humboldt's Beobachtungen die Wärmeabnahme nicht so rasch von statten zu gehen, als auf isolirten Bergen. Es fand derselbe nämlich auf den Hochebenen von

Quito	die nöthige Erhebung für 1°	240	Meter
Mexiko	„	248	„
Popayan	„	250	„
St. Fé de Bogota	„	251	„

Diese Erscheinung erklärt sich sehr einfach. Ein spitzer isolirter Berg bietet den ihn umgebenden Luftschichten mehr Berührungspunkte dar, es wird ihm durch diese beständig Wärme entzogen, wenn auch schon die Oberfläche eines solches Berges sich stärker erwärmt, weil die dünnere Luft über ihm den Sonnenstrahlen weniger Wärme durch Absorption entzieht. Anders ist es mit den Plateau's. Auch auf ihnen nimmt der Boden eine höhere Temperatur an, allein die Luft ist hier länger mit der größern Bodenoberfläche in Berührung und erwärmt sich daher nach und nach.

c. Reduction der Temperatur auf das Meeresniveau.

Die Kenntniß der Abnahme der Temperatur mit der Höhe ist von der größten Wichtigkeit zur Bestimmung des Laufes der Isothermlinien. Wollen wir die Temperatur zweier Orte vergleichen, so müssen wir diese unter gleichen Verhältnissen ansehen; wir dürfen also, um zu ermitteln, in wie weit die Isothermen von den Parallelkreisen abweichen, nicht einen Punkt in meeresgleicher Lage und einen andern, tausend Meter höhern, unmittelbar vergleichen.

Der Einfachheit halber reduzirt man die Temperaturen am besten auf das Niveau des Meeres.

Um die Rechnung vornehmen zu können, muß man aber für den betreffenden Ort die Höhe kennen, welche der Temperaturabnahme von 1° entspricht. Dieselbe beträgt z. B. für Quito, dessen mittlere Temperatur 15°,6 ist, 240 Meter; Quito liegt 2914 Meter über den Meeresspiegel; da auf 240 Meter 1° Temperaturabnahme kommt, so kann man sich denken, Quito besitze, wenn es im Niveau des Meeres liege, eine Temperatur von $15^{\circ},6 + \left(\frac{2914}{240}\right)^{\circ} = 15^{\circ},6 + 12^{\circ},1 = 27^{\circ},7$.

d. Schneegrenze.

Wir haben vorhin gesehen, daß die Temperatur mit der Erhebung über die Meeresfläche abnimmt; selbst unter dem Aequator kann man, wenn man sich um das gehörige Maß von der Erdoberfläche in vertikaler Richtung entfernt, zu einem Punkte gelangen, wo die mittlere Temperatur = 0° ist. Man sollte nun denken, in solcher Höhe müßte sämmtlicher Wasserdampf in der Luft gefrieren, fest werden und Schnee oder Eis bilden.

Die hypothetische Annahme, daß durch die mittlere Jahrestemperatur von 0 Grad die Schneegrenze bestimmt werde, ist aber, wie die Beobachtung ergeben hat, nicht richtig; denn man kennt Orte, deren mittlere Jahrestemperatur unter 0° liegt und die trotzdem im Sommer ganz frei von Schneesind.

Offenbar ist die Sommerwärme in solchen Gegenden, deren Temperatur im Jahresdurchschnitt 0° beträgt, höher, als die Temperatur des Gefrierpunktes. Wenn also auch hier im Winter und auch wohl im Frühling und Herbst Schnee fällt, so wird dieser doch, wenigstens zum Theil, im Sommer wegschmelzen. Es hängt daher die Schneegrenze von der Höhe der Sommertemperatur und von der Menge des gefallenen Schnee's ab. Man kann deßhalb im Allgemeinen sagen, die Schneegrenze beginne da, wo im Winter, Frühjahr und Herbst mehr Schnee fällt, als im Sommer schmilzt.

Ist die Sommerwärme so hoch und der Schneefall so gering, daß sämmtlicher Schnee im Sommer vergeht, so kann ein Ort außerhalb der Schneegrenze liegen, obgleich seine mittlere Jahrestemperatur weniger, als 0° beträgt. So findet man z. B. bei Enontekis in Lappland noch Fichtenwaldungen, es wird daselbst noch Getreide gezogen, obgleich die mittlere Jahrestemperatur — 2°,7 ist. Wäre der Boden das ganze Jahr über mit Schnee bedeckt, so würde es unmöglich sein, ihn zu bebauen.

Daß die Schneegrenze am Aequator höher liegen muß, als in der gemäßigten und in der kalten Zone, ist begreiflich, denn wie oft kann man dort, wo die mittlere Jahrestemperatur 28° beträgt, 200—300 Meter (mittlere Erhebung für die Temperaturabnahme um 1°) zurücklegen, bis die Temperatur auf 0 Grad gesunken ist.

Im Innern der Länder rückt die Schneegrenze gewöhnlich höher aufwärts, als an den Küsten. Dies rührt einestheils daher, weil die Sommertemperatur im Binnenlande höher ist, anderntheils aber von dem größern Schneefall an den Küsten, welcher der Meeresfeuchtigkeit seinen Ursprung verdankt.

Norwegen hat bekanntlich bei gleicher Breite eine höhere mittlere Jahrestemperatur, als Schweden. Allein Schweden besitzt heißere Sommer und in Norwegen sind die wässerigen Niederschläge bedeutender.

Die Pyrenäen und der Kaukasus liefern eine treffende Bestätigung für den vorhin ausgesprochenen Satz, daß die Schneegrenze durch die Menge des gefallenen Schnees bestimmt werde. Obgleich die mittlere Jahreswärme in den Pyrenäen höher ist, als im Kaukasus, so liegt doch in dem erstgenannten Gebirg die Schneegrenze 2000 Fuß tiefer. Dies rührt daher, weil in den Pyrenäen, die von dem feuchten Südwestwind des Atlantischen Oceans bestrichen werden, mehr Schnee fällt, als im Kaukasus, wo der aus Afrika kommende Südwestwind trocken ist.

Der nördliche Abhang des Himalaja wird von kalten, wenig Feuchtigkeit mit sich führenden, Winden getroffen, der südliche Abhang dagegen von den Moussons, welche das Indische Meer passirt und sich auf diesem mit Feuchtigkeit beladen haben. Deshalb liegt an dem nördlichen Abhang die Schneegrenze fast 4000 Fuß höher, als auf der südlichen Seite dieses Gebirgszuges.

Auf isolirten Bergen geht die Schneegrenze gewöhnlich höher hinauf, als inmitten einer Reihe von gleichhohen Bergen. Die äußeren Berge halten die Sonnenstrahlen ab; auch wird die Temperatur durch die großen Schneemassen eines ganzen Gebirgssystems erniedrigt.

Wir brauchen kaum zu bemerken, daß die Schneegrenze keine unveränderliche Linie ist, sie erhöht sich oder sinkt von einem Jahr zum andern, je nach der Masse des Schneefalls und der Höhe der Sommertemperatur. Um die mittlere Schneemenge zu bestimmen, muß man deshalb aus mehrjährigen Aufzeichnungen den Durchschnitt nehmen.

Wenn man sich vom Aequator aus weit genug nach Norden oder Süden hin begibt, so kommt man endlich zu einer Region, wo die Schneegrenze im Meeresniveau liegt. Die Linie, welche die Grenze des ewigen Schnees in meeresgleicher Lage auf der nördlichen Halbkugel bezeichnet, geht bei Spitzbergen bis etwa 80⁰—81⁰ der geogr. Breite hinauf. Ueber Asien und Amerika senkt sie sich bedeutend herab. Da die südliche Halbkugel überhaupt kälter, als die nördliche ist, so trifft auf jener die Schneegrenze auch früher im Meeresniveau ein, wahrscheinlich zwischen 67⁰—71⁰.

Nachstehend einige Angaben über die Höhe der Schneegrenze in verschiedenen Breiten.

Breiten.	Breite	Schneegrenze in Metern.
Bei Quito	0°	4824
Vulkan Purace	2°18′	4688
Vulkan Tolima	4°46′	4670
Sierra Nevada di Merida	8° 5′	4550
Abyssinien	13°10′	4287
Mexiko	19°	4500
Himalaya, nördl. Abhang	31°	5067
„ südl. Abhang	31°	3956
Hindu-Kho	34°30′	3956
Sierra Nevada de Granada	37°10′	3410
Etna	37°30′	2905
Argäus-Berg in Kleinasien	38°	3262
Ararat	39°42′	4318 (?)
Pyrenäen	43°	2728
Elbruz (Kaukasus)	43°21′	3372
Alpen	46°	2708
Altai	50°	1070
Vulkan Schevelutsch (Aleuten)	56°40′	1600
Nördl. Ural	59°40′	1460
Aldan (Sibirien)	60°55′	1364
Norwegen	60°62°	1560
Oster Jökul (Island)	65°	936
Norwegen	67°	1266
„	70°	1072
Insel Mageroe	71°	120
Spitzbergen	80°81°	0

c. **Die Gletscher.**

Die Schneegrenze bildet überall eine der Horizontalen ziemlich parallele Linie. Von der Schneegrenze aus ziehen sich aber Eismassen bis weit in die Thäler hinab — man nennt sie Gletscher.

Wenn im Winter Schnee fällt, so wird eine große Menge desselben in die Thalschluchten, welche zwischen den Bergen befindlich sind, zusammengeweht Dieser Schnee bleibt auch im Sommer liegen, weil ihn die Sonne, gehindert durch die Bergwände, nicht erreichen kann. Auf den Bergen dagegen schmilzt der Schnee; das gebildete Wasser sickert in die Schneemassen der Thalschluchten ein und durchdringt sie nach und nach. Indem dieses Wasser sich mit dem Schnee mengt und gefriert, entsteht das Gletschereis, welches sich durch geringe Sprödigkeit und körniges Gefüge vor dem gewöhnlichen Eise auszeichnet. Die Körner, in welche das Gletschereis beim Zerschlagen zerfällt, haben die Größe einer Wallnuß.

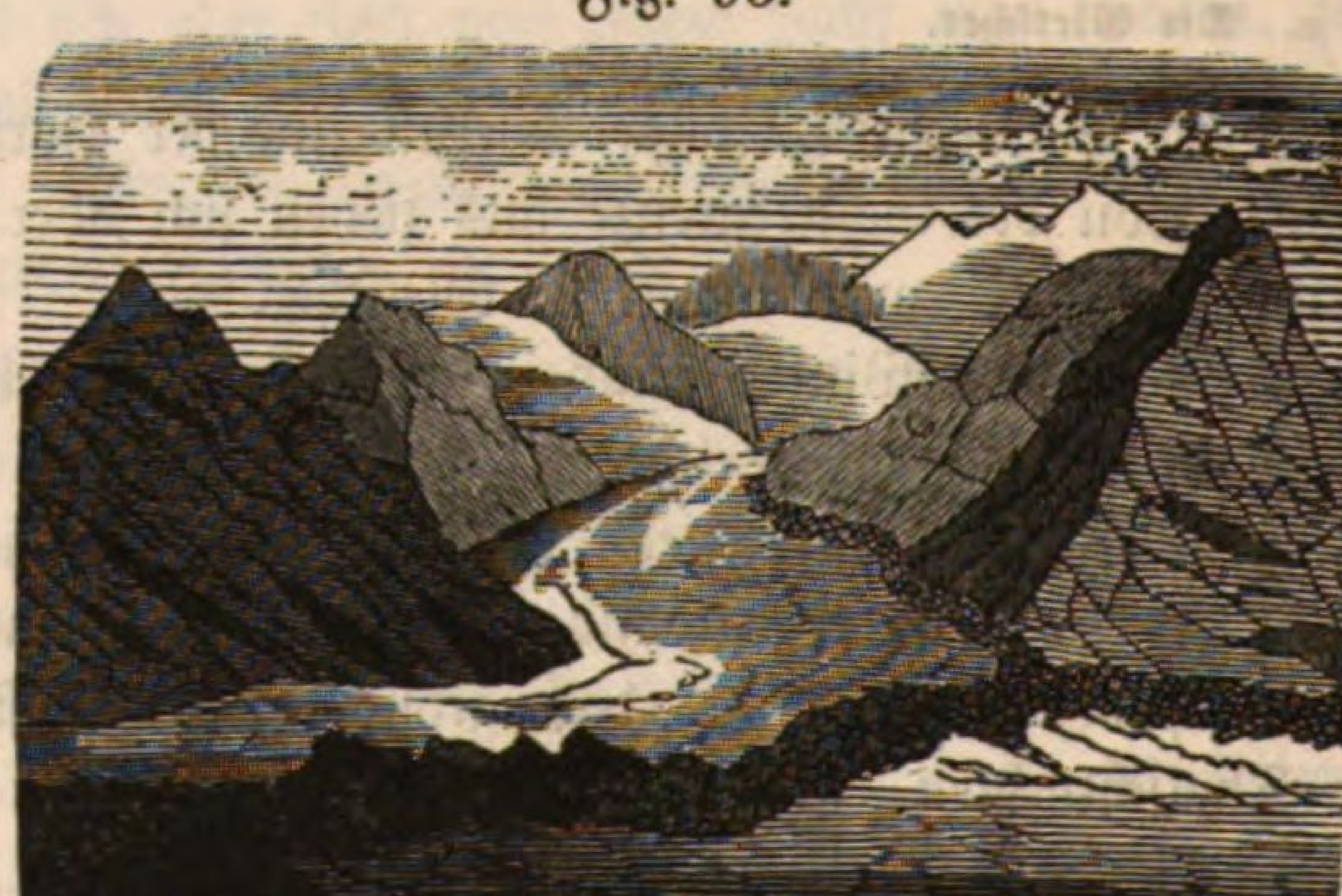
Das meiste Gletschereis stammt aber von dem Firn ab. Dieser findet sich am Ausgangspunkte des Gletschers, in der Höhe des Gebirges. Der Firn besteht aus rundlichen, erbsengroßen Körnern von Eis. Sie bilden sich schon nach einigen Tagen aus dem frischgefallenen Schnee. Der Firn wird durch die Bewegung des Gletschers, von welcher wir sogleich reden wollen, in die Tiefe geführt und dabei nehmen die Eiskörner an Größe zu, indem mehrere sich verbinden.

Die Gletscher reichen mit ihrem Ende bis in das bebaute Land hinein, sie berühren die Felder, auf denen man alle Agriculturgewächse erzieht. Der Grindelwaldgletscher im Berner Oberland geht bis 1000 Meter über die Meeresfläche hinab.

Die Gletscher zeigen eine höchst merkwürdige Erscheinung, nämlich sie bewegen sich von der Höhe des Gebirges nach der Tiefe hin. Bei dieser Bewegung, die man auch das Vorrücken der Gletscher nennt, verhalten sie sich ganz, wie die Flüssigkeiten, z. B. wie das Wasser in einem Strome, so daß man sie in der That Eisströme nennen kann. In der Mitte bewegt sich das Gletschereis schneller, als an den Rändern, woran jedenfalls die Reibung, welche zwischen demselben und dem anstoßenden festen Boden oder Gestein stattfindet, die Schuld trägt. Wenn man deßhalb quer über den Gletscher eine gerade Linie zieht, die zu der Längenaxe desselben rechtwinklig ist, so bildet dieselbe nach einiger Zeit eine Curve; die beiden Enden am Rande bleiben zurück und die Mitte der Linie rückt nach der Tiefe hin vor.

Die Größe des jährlichen Vorrückens eines Gletschers ist nicht unbedeutend; sie soll an 100 Meter betragen können. Im Sommer und bei warmem Wetter geht das Vorrücken schneller von Statten, als im Winter und bei Frost. Oft werden durch die Bewegung des Gletschers die Felder an dessen unterem Ende verdeckt und dadurch der Cultur entzogen.

Fig. 93.



Wenn am Rande des Gletschers Felsen sich befinden, so fallen oft Stücke von diesen auf das Eis und werden dann von demselben weiter getragen. Am untern Ende im Thal bleiben sie liegen, wenn das Eis schmilzt. Man nennt die Schutthaufen, welche hierdurch entstehen, Moränen.

Von den Erklärungen, welche über das Vorrücken der Gletscher gegeben worden sind, hat wohl diejenige am meisten für sich, welche sie von

der eigenen Schwere dieser ungeheuren, auf einer geneigten Ebene befindlichen, Eismassen ableitet. Das von den Bergen kommende Wasser dringt bis zur Sohle des Gletschers, seine Wärme, verbunden mit derjenigen des Bodens, auf welchem der Gletscher ruht, löst das Eis auf. Nachdem der Zusammenhang zwischen dem Eis und der Unterlage aufgehoben worden ist, beginnt das Rutschen der Masse. Aus den meisten Gletschern kommen an ihrem Fuße Bäche, oft von bedeutender Stärke, hervor. Durch das fortwährende Umkrystallisiren des Eises bei jeder Temperaturveränderung wird die Bewegung der Masse erleichtert.

Nimmt der Gletscher über einer Unterlage von Felsen seinen Weg, so ziehen die Steine, Rollstücke u. s. w., welche immer in das Gletschereis eingefroren sind, Furchen in den Felsen, so daß sich an diesen der Gang früherer Gletscher deutlich verfolgen läßt.

Die untere Grenze eines Gletschers wird durch das Schmelzen des Eises im Sommer bedingt. In warmen Sommern tritt diese Grenze zurück, in kalten schreitet sie vor.

In Scandinavien und ganz besonders in Spitzbergen erstrecken sich die Gletscher oft bis an das Meer und stürzen dann beim Vorrücken stückweise in dasselbe hinein. Die Eisberge, welche auf dem Meere schwimmen und durch Strömungen oft bis in niedere Breiten getrieben werden, bestehen zumeist aus Gletscherfragmenten. Oft tragen diese Eisberge Felsstücke; diese noch gegenwärtig zu beobachtende Thatsache gibt vielleicht über den Transport der erratischen Blöcke aus Scandinavien nach der Norddeutschen Ebene Aufschluß.

Sechstes Buch.

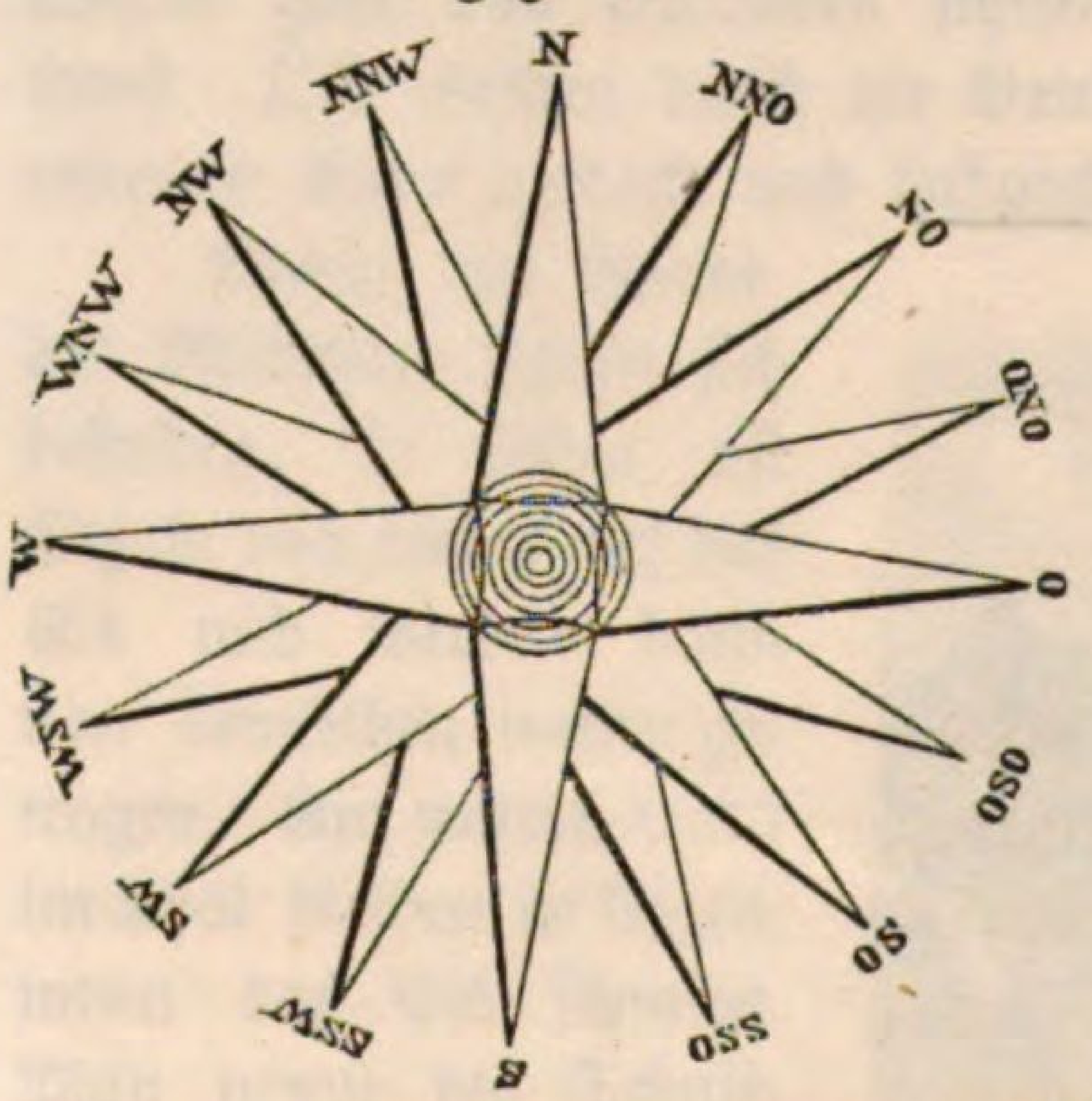
Winde.

1. Begriff und Benennung der Winde.

Eine in Bewegung begriffene Gasmasse nennen wir einen Wind. Wir nehmen den Wind durch den Druck wahr, den er auf unsern Körper ausübt, so wie durch die Bewegung hängender und schwebender Gegenstände, wie z. B. der Windfahnen, der Wolken u. s. w.

Der Wind wird benannt nach der Himmelsgegend, aus welcher er kommt, nicht nach derjenigen, welche er zu erreichen strebt. Einen Wind, der vom Westen nach Osten weht, bezeichnen wir als West- und nicht als Ostwind.

Fig. 94.



Die Benennung der Winde, wie sie bei den Wetterfahnen gebräuchlich ist, zeigt die nebenstehende Windrose. (Fig. 94.) Für die Metereologie wäre es am zweckmäßigsten, wenn man die Windrichtung in Graden des Kreises ausdrückte, der die vier Himmelsgegenden verbindet.

Zur Bestimmung der Windrichtung dient die Windfahne. Wenn man diese mit einer langen Axe in Verbindung bringt, welche in das Zimmer eines Gebäudes hinunterreicht und einen Zeiger hat, so erspart man sich das mühsame und doch zugleich ungenaue Einschätzen der Windrichtung. Der Zug der Wolken zeigt gleichfalls die Richtung des Windes an; um diese richtig einzuschätzen, läßt man das Bild der Wolke in einem Spiegel sich wiedergeben, auf den eine Windrose eingravirt ist.

Die Windfahne zeigt übrigens nur die Richtung des Windes in der Region an, in welcher sie aufgesteckt ist. Häufig wehen in den obern Luftschichten ganz andere Winde, als in den untern. So fand z. B. der Verf. am 4. Januar 1851 auf dem Schiffenberg bei Gießen die Wolken aus Südwest kommend, während der unmittelbar am Boden wehende Wind ein rein nordöstlicher war. Kämtz führt in seiner Metorologie I, 161 mehrere eclatante Beispiele von entgegengesetzten Winden an.

2. Geschwindigkeit des Windes.

Zur Messung der Geschwindigkeit des Windes dienen die sogenannten Anemometer. Unter den verschiedenen Instrumenten dieser Art empfehlen sich wohl am meisten die hydrometrischen Flügel von Woltmann. Sie haben die Einrichtung der Windmühlen; die Flügel drehen ein Rad mit einem Zeiger; letzterer gibt die Anzahl der Umdrehungen nach Verlauf einer gewissen Zeit an.

Um aber den vom Zeiger beschriebenen Weg auf den vom Wind wirklich zurückgelegten beziehen zu können, bewegt man das Instrument zuerst in ruhiger Luft mit einer bekannten Geschwindigkeit und sieht nach, um wie viel der Zeiger in der Zeiteinheit vorrückt.

Ueber die Geschwindigkeit der Winde hat man folgende Beobachtungen gemacht.

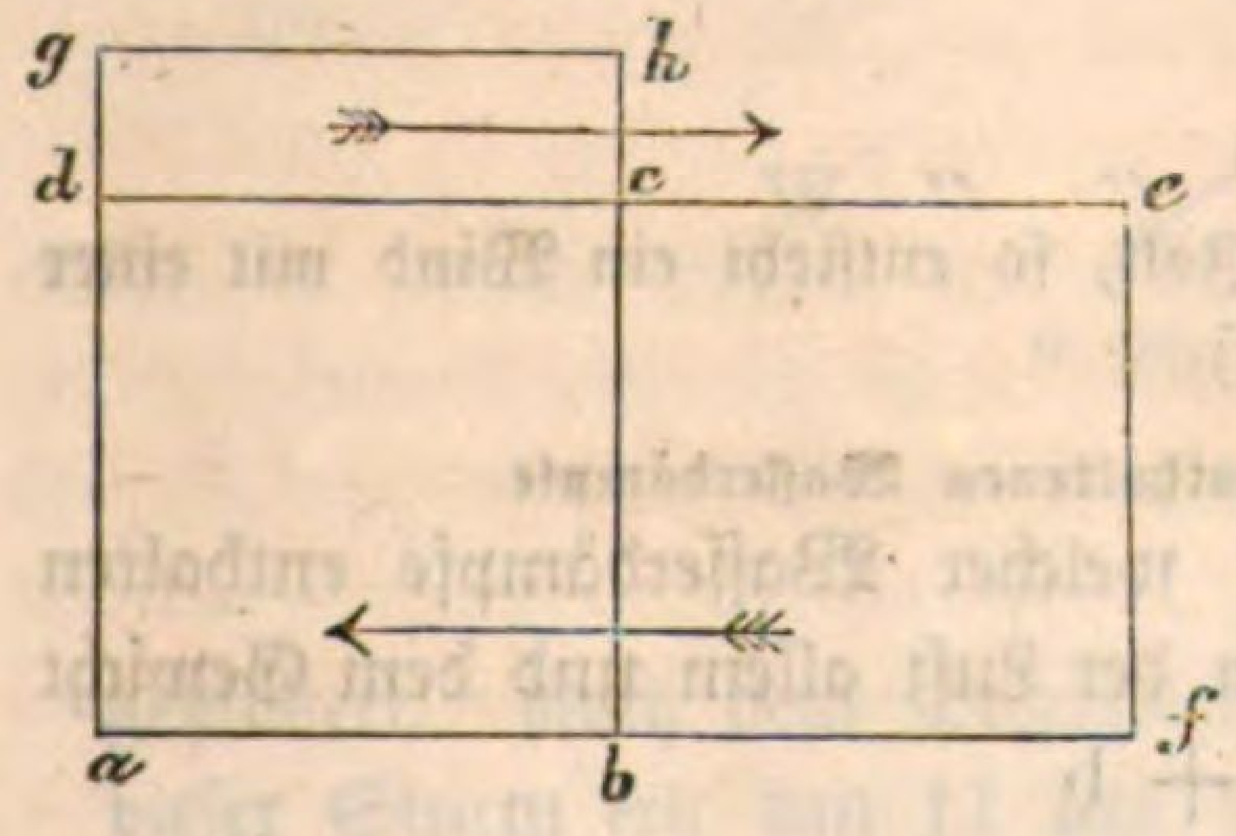
Ein kaum wahrnehmbarer Wind legt in der Sekunde einen Weg von	0,5	Mtrn.	zurück.
„ eben „ „ „ „ „ „ „ „	1—1,5	„	„
„ angenehmer „ „ „ „ „ „ „	2—2,4	„	„
„ lebhafter „ „ „ „ „ „ „	4—5	„	„
„ starker „ „ „ „ „ „	10—12	„	„
„ heftiger „ „ „ „ „ „	14—16	„	„
„ Sturm „ „ „ „ „ „	25	„	„
„ heftiger Sturm „ „ „ „ „ „	30	„	„
„ Orkan „ „ „ „ „ „	36	„	„
der stärkste Orkan „ „ „ „ „ „	45	„	„

3. Ursachen der Winde.

Ein Wind kann entstehen

a. In Folge der Temperaturdifferenz zweier Luftsäulen.

Fig. 95.



Nehmen wir an, die beiden Luftsäulen a b c d und b c e f besitzen gleiches Volum, Gewicht, gleiche Temperatur und Höhe. Nun werde die Säule a b c d erwärmt, z. B. durch die Sonne; sie dehnt sich aus bis g h und ein Theil von ihr fließt über auf c e. Jetzt ist aber das Gleichgewicht gestört, denn im Anfang waren die beiden Luftschichten gleich schwer;

nach eingetretener Erwärmung auf der einen Seite hat die andere Säule einen Theil der Luftmasse von der benachbarten erhalten, ohne selbst etwas verloren zu haben. Nach dem Gesetz des Gleichgewichts im Allgemeinen und der kommunicirenden Röhren insbesondere muß deshalb die Luft aus der Säule b c e f nach c d hinüberströmen. Wir haben daher zwei einander entgegengesetzte Winde; die warme Luft fließt oben und die kalte unten seitwärts ab.

Ein Beispiel von der eben angeführten Entstehungsart der Winde sieht man im Kleinen, wenn man ein Licht einem Ofen nährt. Unten, nahe am Boden neigt sich die Flamme dem Ofen zu, oben, nach der Decke des Zimmers hin, wendet sie sich von ihm ab.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die kältere Luft seitwärts abfließt, läßt sich nach den Gesetzen der Pneumatik berechnen. Eduard Schmidt hat dies in seiner Mathematischen und Physischen Geographie II, 334) gethan. Da die Entwicklung ziemlich weitläufig ist, so beschränken wir uns darauf, blos die Resultate, zu denen Schmidt gelangt ist, mitzutheilen und verweisen Diejenigen, welche sich von der Richtigkeit der Rechnung überzeugen wollen, auf das vorhin angeführte Lehrbuch.

Wenn man mit ϱ', ϱ^0 die Dichtigkeiten zweier Luftsäulen bezeichnet, so ist nach Schmidt die Geschwindigkeit

$$u = \frac{\varrho' - \varrho^0}{\varrho^0} . 1215 \text{ Par. Fuß},$$ oder, wenn p', p^0 die Barometerstände vorstellen,

$$u = \frac{p' - p^0}{p^0} . 1215 \text{ Par. Fuß}.$$

Bleibt z. B. p' unverändert $= 336'''$ und wird

$p^0 = 335'''$,	so ist u =	5,7 Par. Fuß,
= 334	„ „ „ =	7,3 „ „
= 333	„ „ „ =	10,9 „ „
= 332	„ „ „ =	14,6 „ „
= 331	„ „ „ =	18,8 „ „
= 330	„ „ „ =	23,1 „ „
= 329	„ „ „ =	25,8 „ „
:	:	:
:	:	:
= 324	„ „ „ =	45,0 „ „

Fällt also das Barometer um 1 Zoll, so entsteht ein Wind mit einer Geschwindigkeit von mehr als 40 Fußen.

b. Durch plötzliche Verdichtung der in der Luft enthaltenen Wasserdämpfe.

Das Gewicht q einer Luftsäule, in welcher Wasserdämpfe enthalten sind, setzt sich zusammen aus dem Gewicht a der Luft allein und dem Gewicht b des Wasserdampfes. Es ist also $q = a + b$

Verschwindet b, indem der Dampf sich zu Wasser verdichtet, so bleibt nur noch a=q—b.

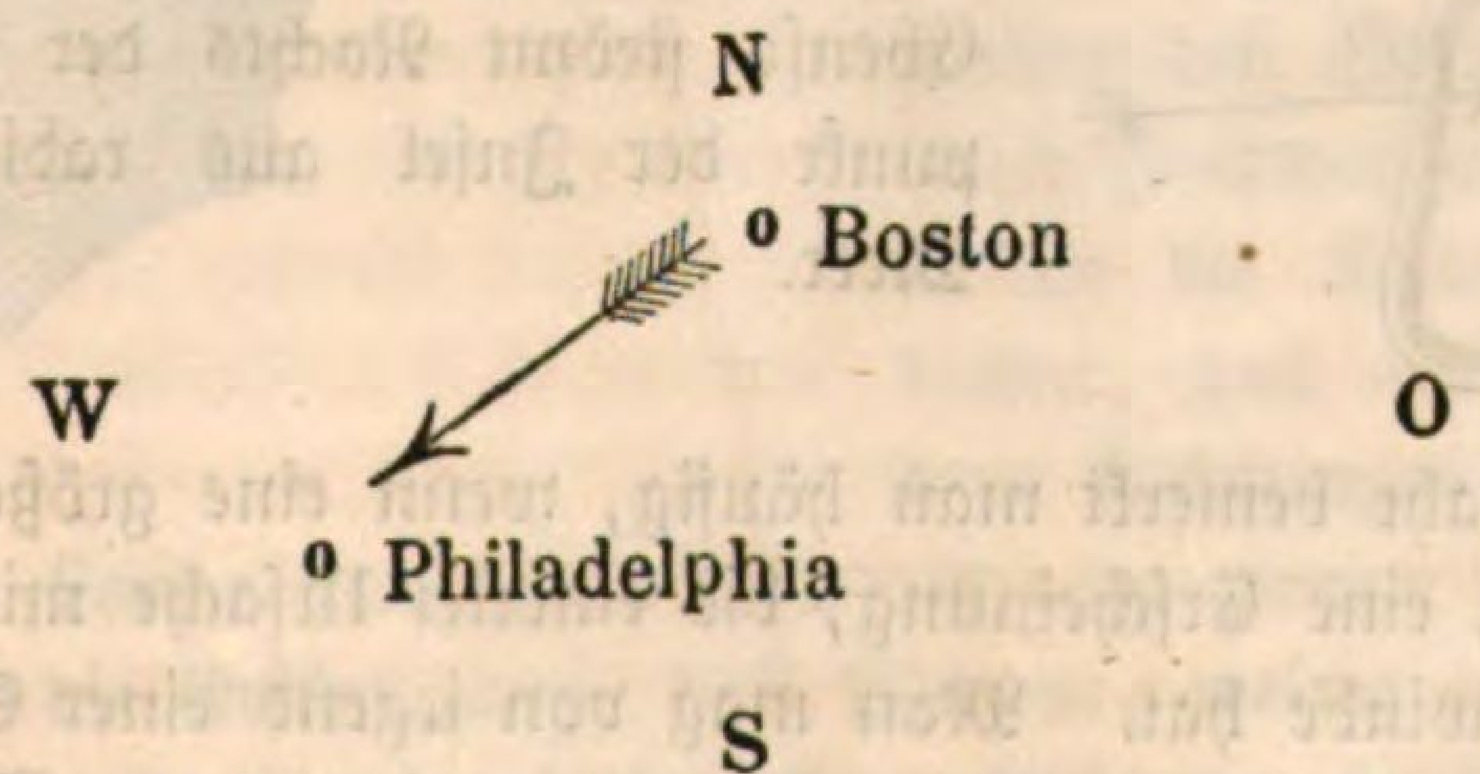
War die Luftsäule vor dem Regen im Gleichgewicht mit einer andern, so muß, nachdem der Wasserniederschlag erfolgt ist, dieses Gleichgewicht gestört sein; es erfolgt ein Druck nach der Seite hin, auf welcher der Regen gefallen ist.

Doch muß die Quantität der in der Luft befindlichen Feuchtigkeit schon einigermaßen bedeutend sein, wenn nach ihrer Condensation ein merklicher Wind auftreten soll. Enthielte z. B. eine Luft von 336''' Barometerstand $\frac{1}{70}$ Feuchtigkeit, so würde durch deren Verdichtung das Barometer auf 331''' sinken. Wäre gleichzeitig an einem andern Ort der Barometerstand 336''' nnd an beiden Orten die Temperatur gleich, so entstünde ein Wind mit einer Geschwindigkeit von 18,8 Fußen. Hierbei ist aber der niemals eintretende Fall angenommen worden, daß mit dem Regen sämmtliche Feuchtigkeit niedergerissen werde. Die Geschwindigkeit des Windes kann aber doch bedeutend werden, wenn, wie dies gewöhnlich der Fall ist, die Barometerstände schon vor dem Regen eine größere Differenz zeigten.

Am 15. Dezember 1850 fand in und um Gießen ein Sturm statt, der unzweifelhaft von der Verdichtung von Wasserdämpfen herrührte. Nachdem die Luft acht Tage lang mit einem undurchsichtigen Nebel angefüllt gewesen war, trat mit dem Wechsel des Windes plötzlich Regen ein, sämmtlicher Nebel fiel zu Boden. In der Nacht entstand ein heftiger Sturm, der sich erst gegen Morgen legte. Am 16ten zeigte sich, in Folge der Verdunstung, wieder Nebel, am 17ten regnete es von Neuem und am 18ten erhob sich abermals ein Sturm von beinahe derselben Heftigkeit, welche den Sturm vom 15ten ausgezeichnet hatte.

Entsteht ein Wind, so wird er früher an einem Orte bemerkbar, der in der Richtung liegt, nach welcher hin der Wind geht, als an dem Orte, der in der Richtung liegt, aus welcher der Wind kommt.

Franklin wurde einstmals um 7 Uhr Abends in Philadelphia durch einen heftigen Sturm aus Nordosten an der Beobachtung einer Mondsfinsterniß



gehindert. Nach dem Schreiben eines in Boston wohnenden Freundes hatte dieser Sturm erst um 11 Uhr seinen Anfang genommen. Aber Boston liegt

nordöstlich von Philadelphia. Nehmen wir an, es sei südwestlich von Philadelphia der Druck der Luft durch irgend eine Ursache vermindert worden, so mußte natürlich die Luft früher von Philadelphia, als von Boston aus zuströmen, deshalb war der Sturm an jenem Orte eher bemerkbar.

4. Land- und Seewinde.

Zu denjenigen Winden, welche durch lokale Erwärmung oder Abkühlung der Luft entstehen, gehören die Land- und Seewinde.

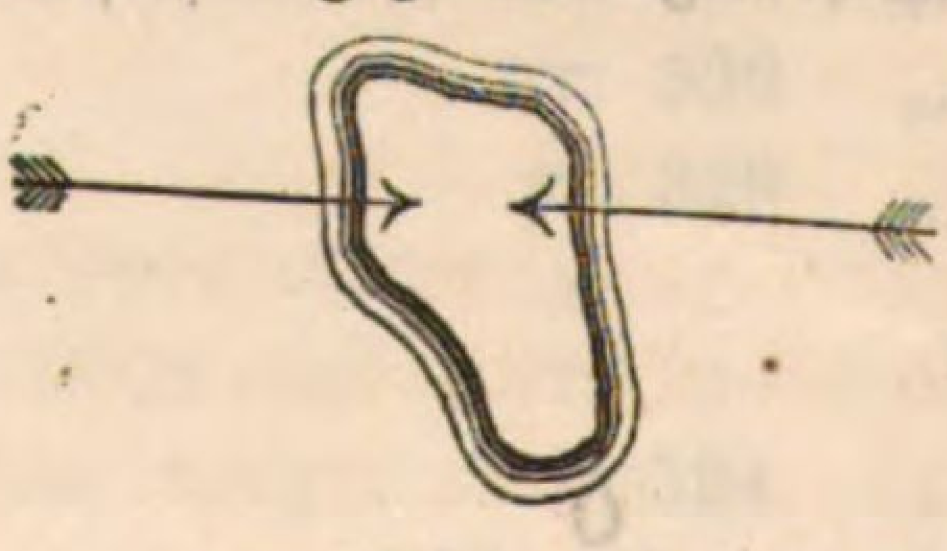
Wie früher gezeigt worden, erwärmt sich die Luft bei Tage über dem Lande weit stärker, als über der See. Sie wird also dort auch mehr ausgedehnt, erlangt eine größere Höhe und fließt seitlich ab. Letzterer Umstand vermindert aber ihr Gewicht; es fließt deshalb die kälterere, schwerere Luft von der See zu, daher herrscht bei Tage ein Seewind. In der Nacht erkaltet das Land stärker, als die See, es tritt nun der umgekehrte Fall ein, d. h. der Wind weht vom Lande nach der See hin und man hat also in der Nacht einen Landwind.

Da zur Erwärmung der Luft durch die Sonne Zeit nöthig ist und da die Abkühlung nicht auf einmal, sondern nach und nach vor sich geht, so zeigt sich der Seewind nicht sogleich nach Sonnenaufgang, sondern erst 1—2 Stunden später. Ebenso tritt der Landwind erst einige Stunden nach Sonnenuntergang ein.

Unter den Tropen besitzen die Land- und Seewinde eine größere Heftigkeit, als in höhern Breiten, wo man sie oft nur während des Sommers bemerkt. Doch sind diese Winde selbst noch an der Küste von Grönland bekannt. Auch an größern Seen, wie z. B. an denen der Schweiz hat man sie wahrgenommen.

Freiliegende Inseln im Meere genießen bei Tage einen Seewind, der radienförmig vom Meer nach ihrem Mittelpunkte hinläuft. Zwei diametral gegenüberliegende Orte der Insel haben deshalb direct entgegengesetzte Winde (Figur 96). Ebenso strömt Nachts der Wind vom Mittelpunkt der Insel aus radienförmig über das Meer.

Fig. 96.



Im Frühjahr bemerkt man häufig, wenn eine größere Wolke am Himmel sich bewegt, eine Erscheinung, die einerlei Ursache mit der Entstehung der Land- und Seewinde hat. Man mag von irgend einer Seite in das Bereich des Wolkenschattens treten, überall kommt einem der Wind von der Wolke aus entgegen. Dies rührt daher, weil die Luft unter den Wolken nicht von den Sonnenstrahlen getroffen wird und deshalb kalt bleibt.

Grenzt ein Wald an ein Feld oder an eine Blöße, so bemerkt man, wenn die Luft sonst ruhig ist, bei Tag einen leichten Wind aus dem Walde, bei Nacht dagegen einen Luftzug vom Felde oder der Blöße nach dem Wald hin. Nach dem so eben Vorgetragenen kann man sich die Ursache dieses Windes leicht erklären.

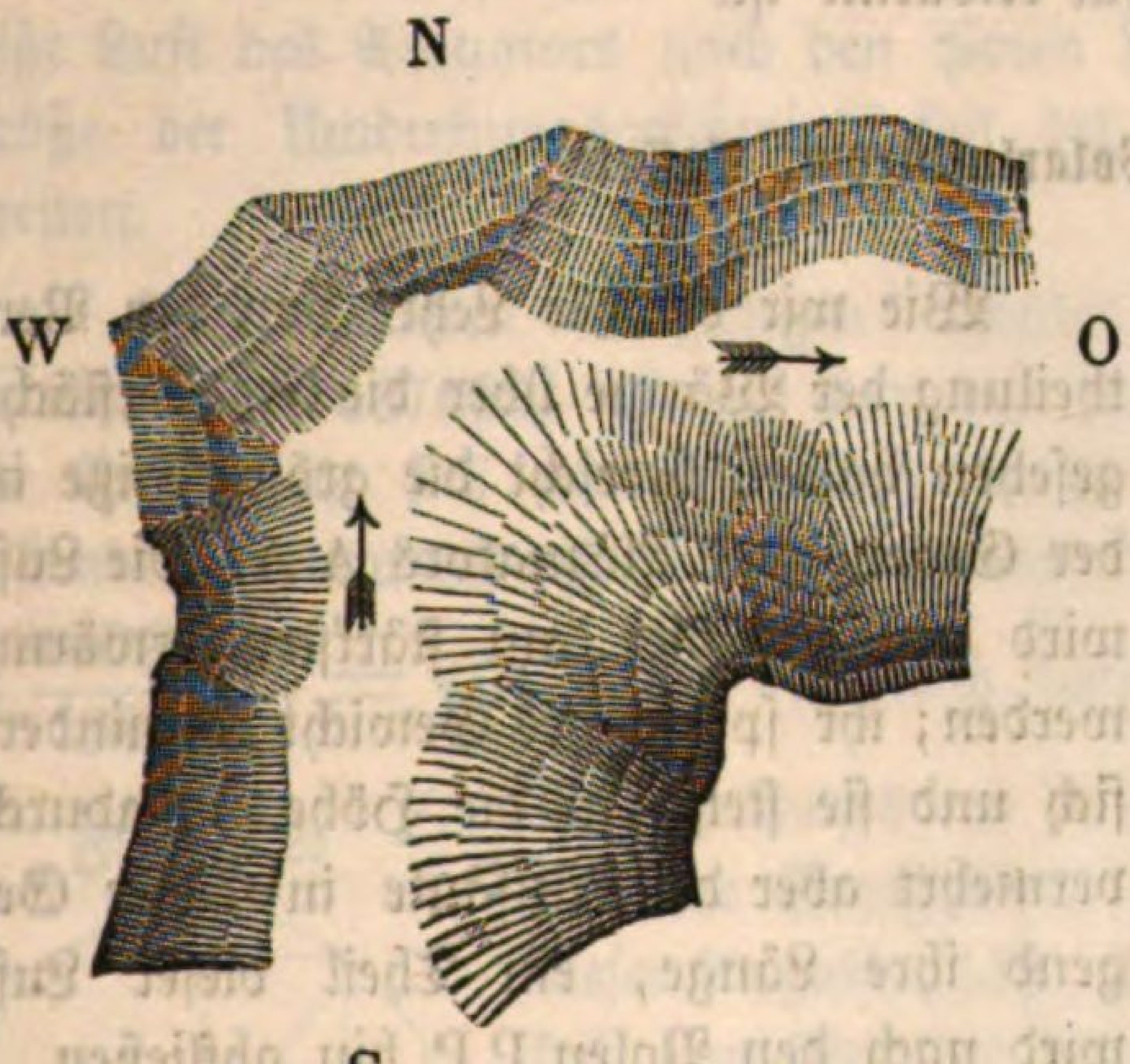
Die Moussons im Indischen Meere fallen wohl auch in die Gruppe der Land- und Seewinde. Es weht nämlich dort vom April bis zum October ein südwestlicher, vom October bis zum April ein nordöstlicher Wind.

Während des Sommers erhitzt sich das Festland von Asien mit seinen dürren Steppen stärker, als die See. Der Wind strömt daher vom Meere aus nach dem Lande hin. Im Winter findet der umgekehrte Fall statt. — Doch ändert die eigenthümliche Configuration der Indischen Halbinseln die eben angeführten Windrichtungen öfters stellenweise ab.

5. Locale Windrichtungen.

Hohe Gebirge, tief eingeschnittene Thäler geben oft den Winden eine andere Richtung, wie wir durch das folgende Beispiel erläutern wollen. Nehmen wir an, es herrsche ein Südwind, welcher in ein von Süden nach Norden verlaufendes und dann nach Osten hin sich fortsetzendes Thal eindringt. Der Wind prallt an der nordwärts vorgeschobenen Wand zurück; da aber stets neue Luftmassen nachfolgen, so suchen die zuerst angelangten einen Ausweg und finden diesen in dem östlichen Zweig des Thales. Die Bewohner desselben empfinden daher den ursprünglichen Südwind als Westwind. —

Fig. 97.

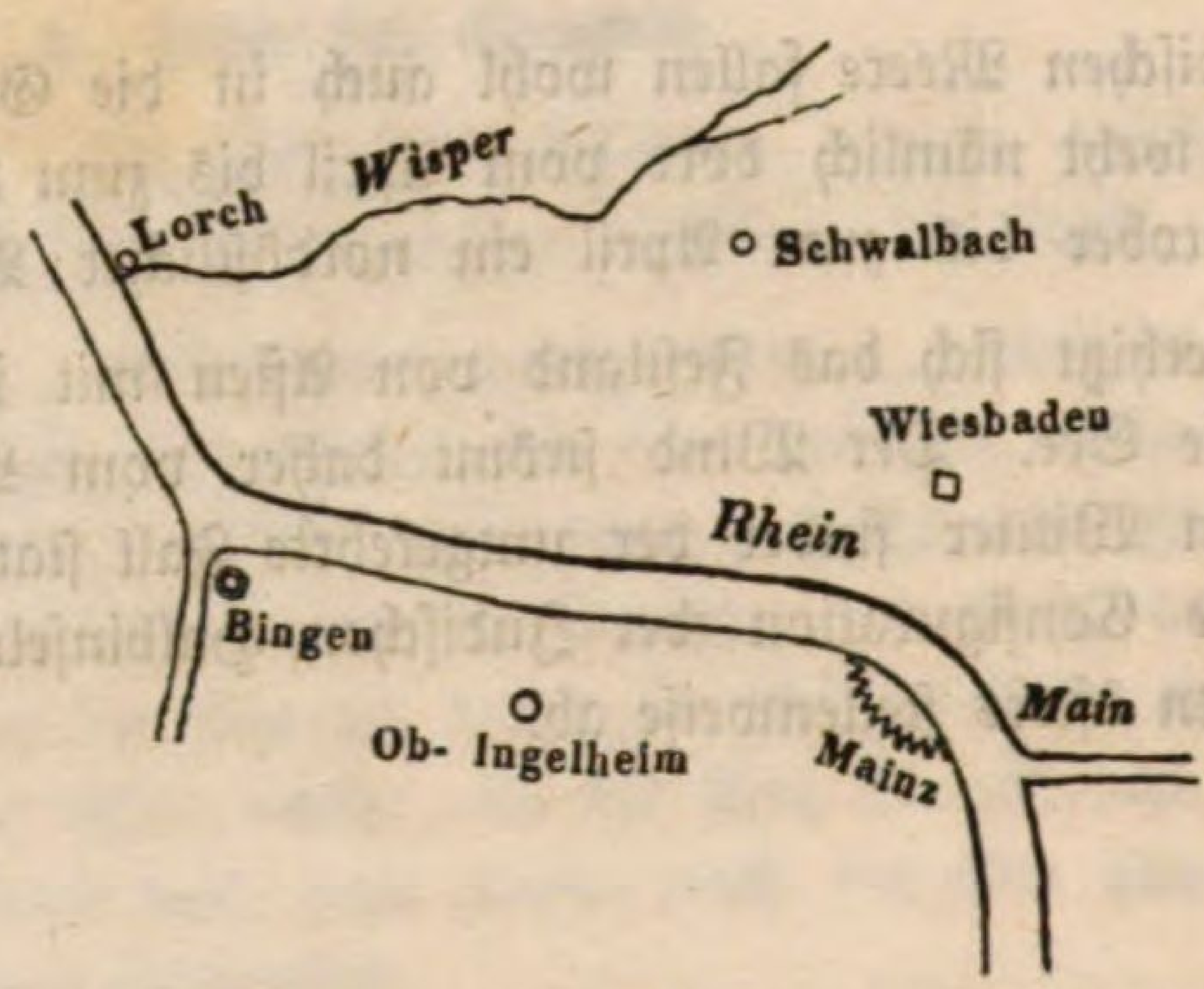


In Gebirgen, wo der Widerstand, den eine hohe Bergwand dem Anprallen des Windes leistet, oft noch durch Hochwaldungen vermehrt wird, welche die Kämme und Gipfel bedecken, und wo die Thäler verschiedene Richtungen einhalten, wird die auf dem flachen Lande herrschende Windrichtung immer abgeändert. Daher rührt denn auch die Erscheinung, daß Stürme, welche in der Ebene durchschnittlich immer aus einer und derselben Richtung beobachtet wurden, im Gebirg aus ganz anderen Himmelsgegenden kamen.

In tiefen Bergschluchten erwärmt sich die Luft später, als auf dem fla-

chen Lande; der Wind strömt daher Vormittags aus solchen Schluchten nach der wärmeren Ebene hin. Der Wisperwind am Rhein verdankt diesem Umstande seine Entstehung.

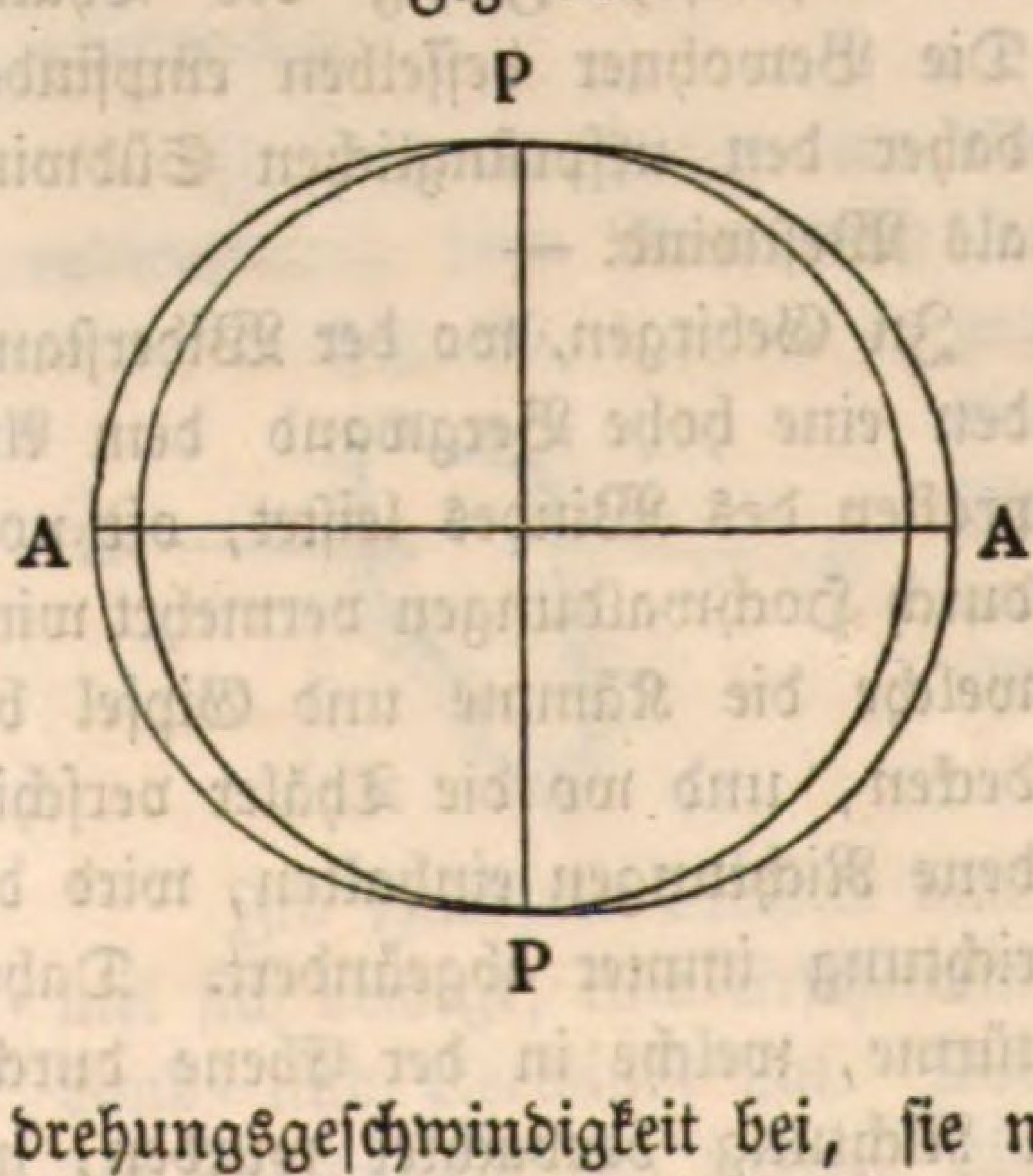
Fig. 98.



Bei Lorch mündet das Thal des Wisperflüßchens aus; dieses entspringt im Herzogthum Nassau bei Schwalbach und erstreckt sich in einer Länge von etwa sieben Stunden in der Richtung von Nordost nach Südwesten. Es hat hohe Ufer, die tief in die Bergmasse des Taunus eingeschnitten sind. Die Strahlen der Sonne können des Morgens nicht bis auf den Grund des Wisperthales gelangen; die Temperatur bleibt deßhalb daselbst niedrig, während die Luft des Rheingaues sich schon erwärmt hat. Die kalte Luft strömt daher aus dem Wisperthal den Rhein hinauf und ist besonders in Bingen, ja selbst noch in dem seitwärts vom Rhein gelegenen Oberingelheim bemerkbar. Der Wisperwind beginnt nach Sonnenaufgang und hält ungefähr 8 Stunden lang an; alsdann hört er auf, weil nun auch das Wisperthal erwärmt ist.

6. Der Aequatorial- und der Polarluftstrom, Passate.

Fig. 99.



Wie wir bei der Lehre von der Vertheilung der Wärme über die Erdoberfläche gesehen haben, herrscht die größte Hitze in der Gegend des Aequators A A. Die Luft wird deßhalb hier am stärksten erwärmt werden; ihr specifisches Gewicht vermindert sich und sie steigt in die Höhe. Dadurch vermehrt aber die Luftsäule in dieser Gegend ihre Länge, ein Theil dieser Luft wird nach den Polen P P hin abfließen.

Die erwärmte Luft behält, indem sie nach Nord und Süd vordringt, lange Zeit die am Aequator herrschende Umdrehungsgeschwindigkeit bei, sie nimmt nur langsam die den höhern Breiten eigenthümliche Geschwindigkeit an. Diese Luft besitzt daher im Verhältniß zu derjenigen, welche sie auf ihrem Wege trifft, eine zweifache Geschwindigkeit,

Fig. 100.

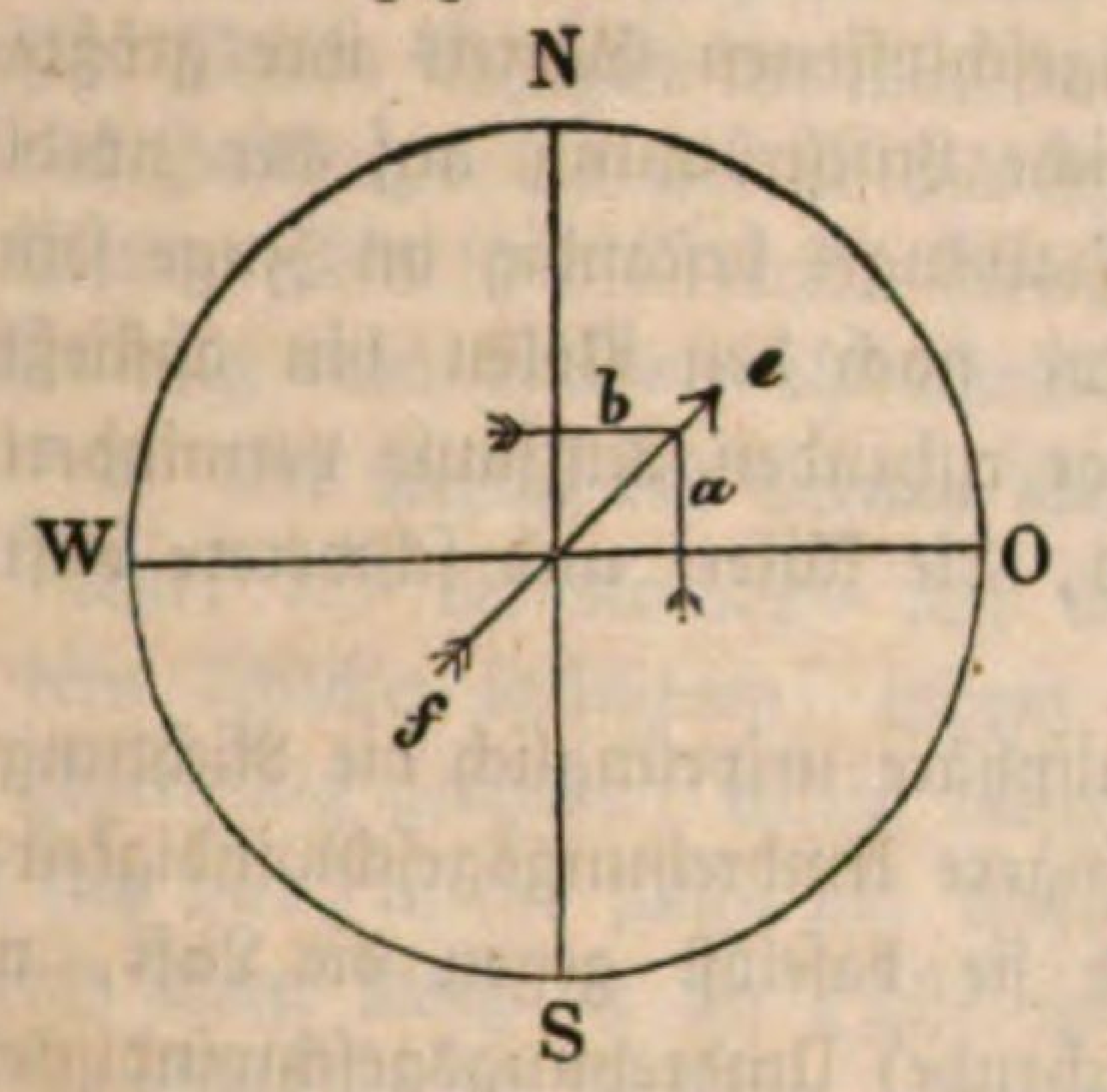
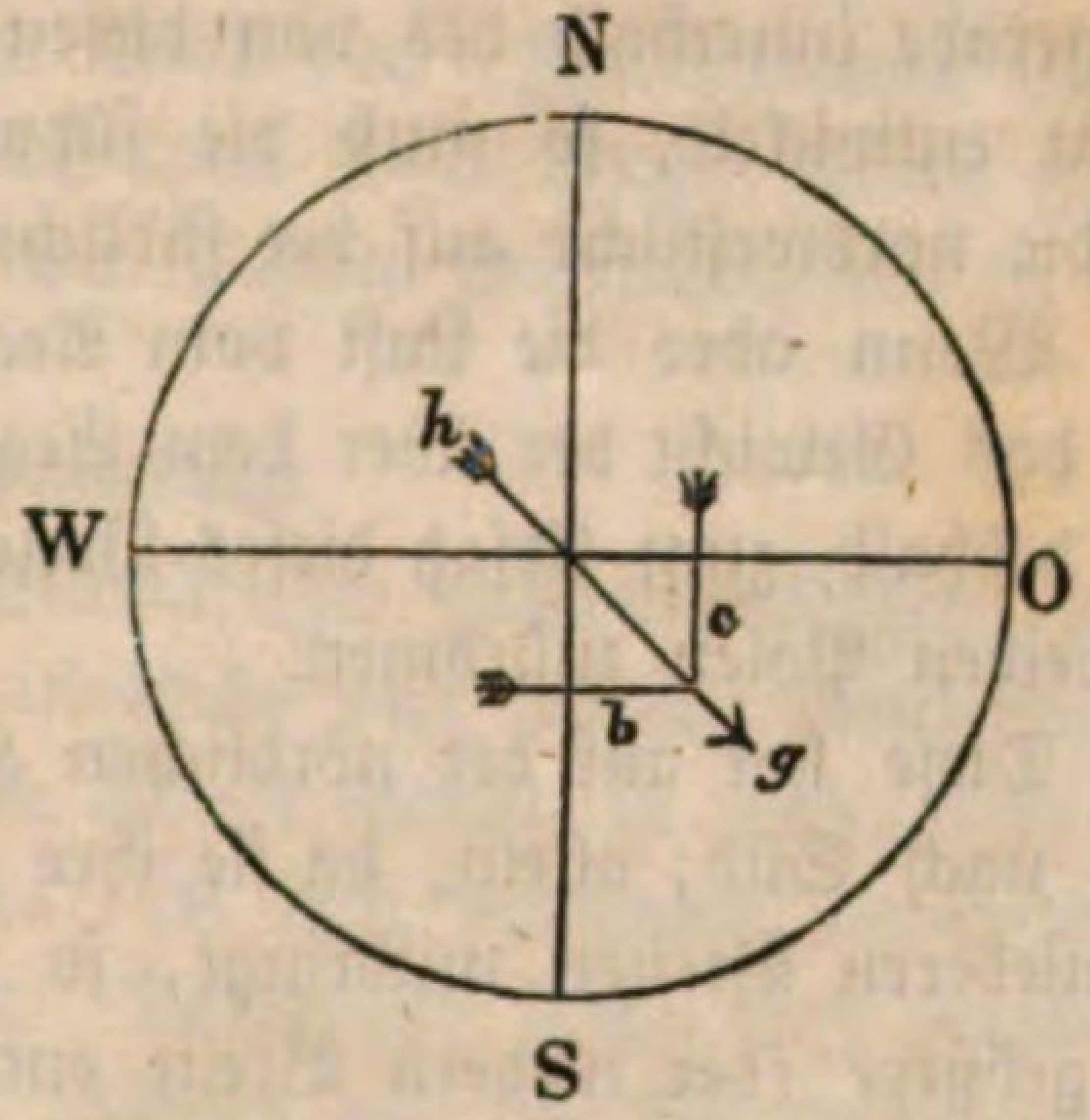


Fig. 101.

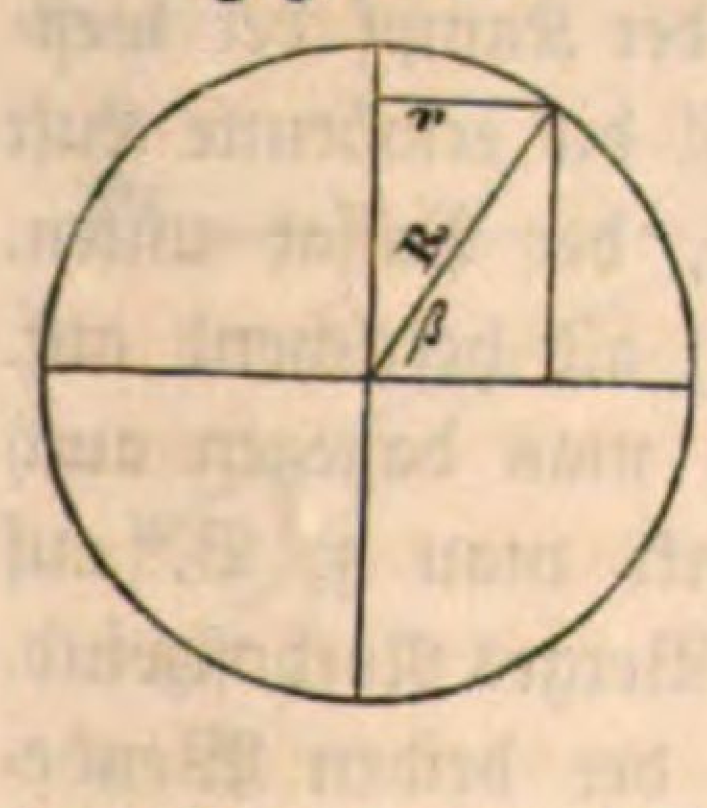


einmal eine solche in der Richtung von Süden nach Norden a auf der nördlichen Halbkugel oder von Norden nach Süden c auf der südlichen Halbkugel, zum andern eine Geschwindigkeit in der Richtung von Westen nach Osten (b). Da sie diesen beiden Richtungen nicht zugleich folgen kann, so entsteht nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte eine zwischen Süd und West fallende Strömung, die man im Allgemeinen als eine südwestliche ef (Fig. 100) bezeichnet. Genau ebenso ergibt sich aus dem Aequatorialluftstrom auf der südlichen Halbkugel eine nordwestliche Strömung gh (Fig. 101).

Ob die Richtung dieses Luftstromes eine mehr nördliche (resp. südliche) oder westliche sei, hängt einmal von der Geschwindigkeit ab, mit welcher die heiße Luft des Aequators nach den Polen hinfließt, zum andern aber von der Größe der Umdrehungsgeschwindigkeit der Luft in den verschiedenen geogr. Breiten.

Nach neueren Messungen beträgt die Größe des Erdhalbmessers am Aequator 6376851 Meter und der Umfang der Erde 40067054 Meter. Die Erde dreht sich um sich selbst in 24 Stunden $= 24.60.60 = 86400$ Sekunden; demnach ist die Geschwindigkeit eines Punktes am Aequator $= \frac{40067054}{86400} = 464$ Meter. Für eine andere Breite ist der Halbmesser r des

Fig. 102.



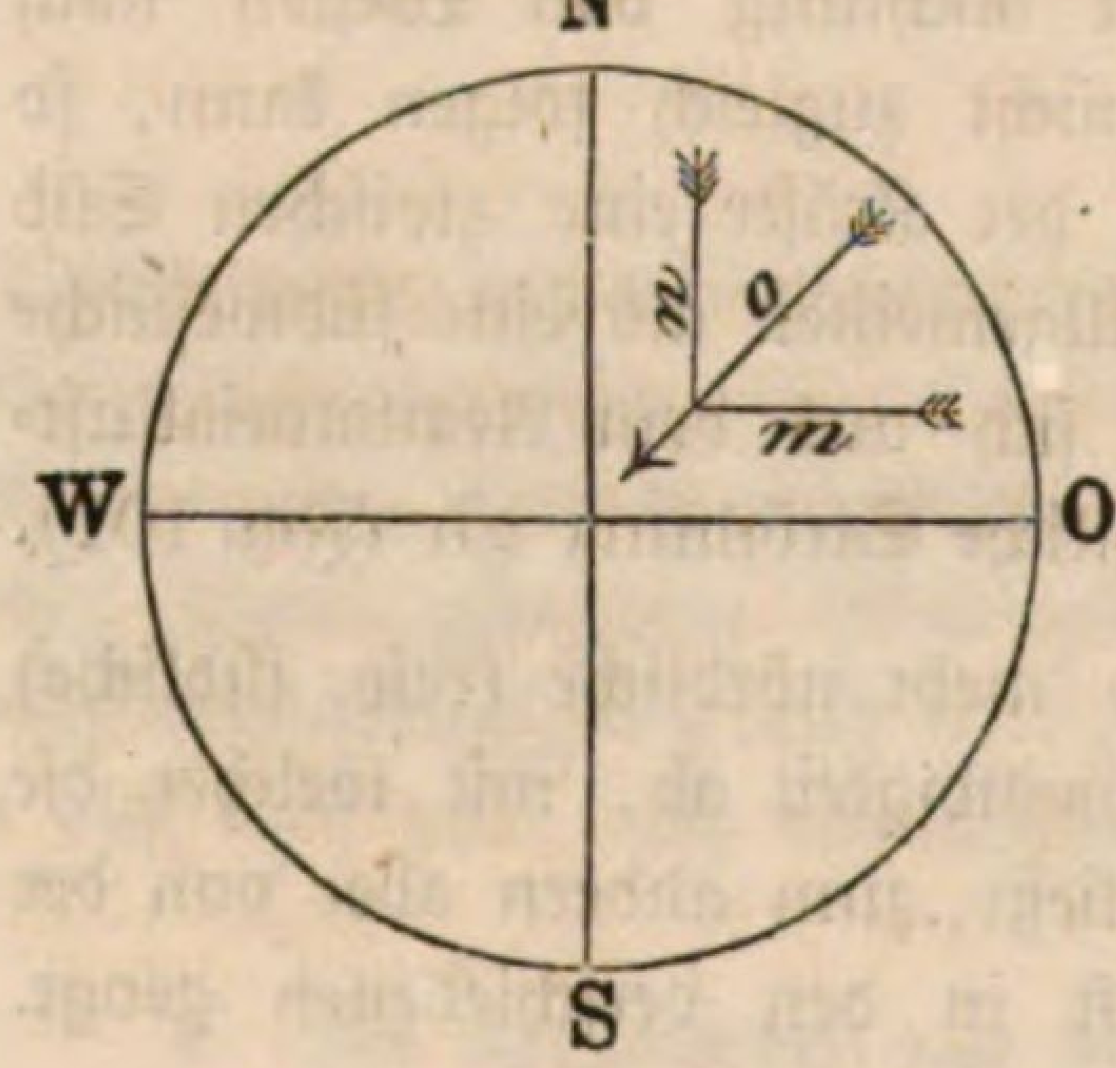
Parallelkreises $= R \cos \beta$, wenn β die Breite bezeichnet, der Parallelkreis selbst ist $= 2\pi R \cos \beta$. Mittelst dieser Angaben läßt sich berechnen, daß die Geschwindigkeit eines Punktes in 30^0 Breite in einer Sekunde $= 402$ Meter, in 60^0 Breite $= 232$ Meter ist. Zwischen 30^0 und 60^0 Breite ist demnach der durchschnittliche Unterschied in der Umdrehungsgeschwindigkeit der Luft für $1^0 = 5$ Metern, und diese Geschwindigkeit ist gerade so groß, als die eines Windes, welcher sich erzeugt, wenn das Barometer plötzlich um 3 Par. Linien fällt.

Da die Sonne sich niemals aus dem Bereiche der Wendekreise entfernt und gerade innerhalb des von diesen eingeschlossenen Gürtels ihre größte Intensität entwickelt, so muß die südwestliche Luftströmung auf der nördlichen und die nordwestliche auf der südlichen Halbkugel beständig im Zuge sein.

Wenn aber die Luft vom Aequator nach den Polen hin abfließt, so wird das Gewicht der über dem Aequator ruhenden Luftsäule vermindert; es muß deßhalb, zum Ersatz dieses Verlustes, die kältere und schwerere Luft von den beiden Polen zuströmen.

Diese hat auf der nördlichen Hemisphäre ursprünglich die Richtung von Nord nach Süd; allein, da sie ihre geringere Umdrehungsgeschwindigkeit nach den niederen Breiten mitbringt, so wird sie daselbst gegen die Luft, welche eine größere (der niedern Breite entsprechende) Umdrehungsgeschwindigkeit besitzt, zurückbleiben, also im Verhältniß zu dieser Luft nach Westen voraneilen.

Fig. 103.



Aus dieser östlichen (m) und der ursprünglich nördlichen Richtung (n) resultirt nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte eine nordöstliche Richtung (o) des Polarstroms auf der nördlichen Halbkugel.

Ebenso erzeugt der Polarstrom auf der südlichen Halbkugel eine südöstliche Strömung.

Man nennt die beiden letzterwähnten Winde: Passate.

Auf den ersten Anblick hin sollte man wohl glauben, auf der nördlichen Halbkugel müsse beständig in den untern Regionen der Nordostwind, in den obern der Südwestwind wehen. Dies ist aber nicht der Fall. Der Südwestwind erkaltet immer mehr, je weiter er nach Norden fortrückt, er wird schwerer und sinkt herunter, bis er endlich den Boden erreicht.

In der gemäßigten Zone müssen deßhalb der Nordost- und der Südwestwind einander begegnen, und es hängt von der relativen Stärke des einen oder des andern ab, welcher von ihnen die Oberherrschaft behalten soll. Es ist deßhalb die gemäßigte Zone der ständige Kampfplatz dieser beiden Winde.

In der heißen Zone, zwischen den Wendekreisen, ist der Kampf der westlichen Winde mit den östlichen noch nicht so lebhaft, weil die erwärmte Luft hier gerade in die Höhe steigt. Der Südwest weht oben, der Passat unten. Daher tritt in dieser Zone nur der östliche Wind (Passat) als herrschend auf. Auf höhern Bergen in der Nähe der heißen Zone kann man dagegen auch den obern Aequatorialluftstrom wahrnehmen. So bemerkt man z. B. auf dem Pic von Teneriffa Südwestwind, unten am Fuße des Berges Nordostwind.

Die Passate gehen übrigens noch über die Grenze der beiden Wendekreise hinaus, doch ist ihre Region nicht überall gleichbreit. So dringt der

Nordostpassat im Atlantischen Meer bis zum 28—30 Grad der Breite, im Großen Ocean dagegen nur bis zum 25. Grad vor. Im Sommer liegt auf unserer Halbkugel die Grenze des Passates etwa 2—3 Grade weiter nördlich, im Winter eben so viel weiter südlich. Die Passate sind jedoch erst in einiger Entfernung vom Lande wahrnehmbar.

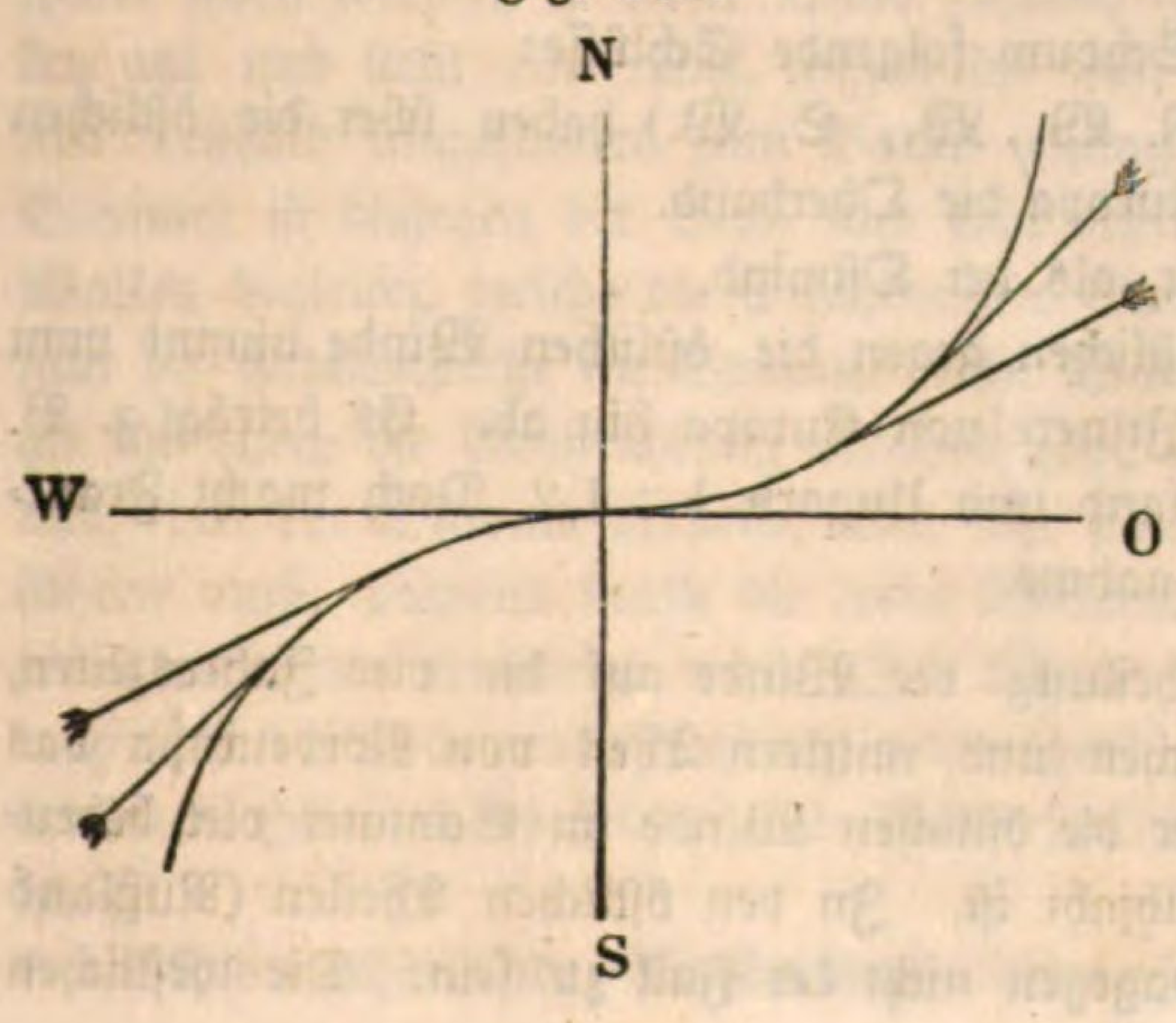
7. Die Region der Calmen oder Windstillen.

Da, wo der Nordost- und der Südostpassat zusammentreffen, entsteht ein rein östlicher Luftstrom, indem die nördliche und südliche Geschwindigkeit sich gegenseitig aufhebt. Allein dieser rein östliche Strom ist wenig bemerkbar, weil sich hier, in der Nähe des Aequators, die Luft bedeutend erwärmt und sogleich ihren Weg in die Höhe nimmt. Deßwegen heißt diese Region die der Windstillen oder Calmen. Sie liegt (ähnlich wie der Wärmeäquator) etwas nördlich vom terrestrischen Aequator und umfaßt einen Gürtel von etwa 12 Breitegraden, so daß der Nordostpassat in 9° nördl. Breite, der Südostpassat in 3° südl. Breite beginnt.

8. Windverhältnisse in Europa.

Wie wir oben bemerkt haben, ist die Gegend zwischen den Wendekreisen und dem Polarkreis, also die gemäßigte Zone, der ständige Kampfplatz des Aequatorial- und des Polarluftstromes, also der südwestlichen und nordöstlichen Winde auf der nördlichen Halbkugel. Die übrigen Winde entstehen in den meisten Fällen nur dadurch, daß einer dieser beiden Hauptluftströme in den anderen überspringt. Dabei hat man die Beobachtung gemacht, daß der Wind viel häufiger von Süd über West, Nord und Ost, als in umgekehrter Ordnung wechselt. Das Gesetz der Winddrehung erklärt sich ganz einfach in folgender Weise: Gesetzt, es habe Nord- oder Nordostwind geweht und dieser werde nun durch einen Südwestwind verdrängt, so wird letzterer immer mehr eine westliche Richtung annehmen, je weiter er nach Norden kommt,

Fig. 104.



denn er besitzt eine größere Umdrehungsgeschwindigkeit im Sinne von West nach Ost, als die Luft in höheren Breiten. Läßt aber jetzt der westliche Luftstrom nach und tritt an seine Stelle der Nordost, so wird letzterer den Westwind nicht plötzlich, sondern nur allmählig verdrängen und es wird, nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte, zuerst ein Nordwest-, dann ein Nordwind entstehen und zuletzt erst

der reine Nordost auftreten. Dieser nimmt aber, je weiter er nach Süden vordringt, eine mehr östliche Richtung an, weil die Differenz zwischen seiner ursprünglichen Umdrehungsgeschwindigkeit und derjenigen der Luft in niederen Breiten immer größer wird. Gewinnt der Südwest wieder über den Nordost die Oberhand, so treten, ehe der reine Südwest zum Vorschein kommt, wieder die Zwischenwinde, nämlich Ost, Südost und Süd ein. Wir sehen also, daß das Gesetz der Windedrehung mit der Umdrehung der Erde von West nach Ost zusammenhängt; würde die Umdrehung die entgegengesetzte, also von Ost nach West sein, so fände gewiß auch die Drehung des Windes über Süden und Osten statt.

Die Häufigkeit irgend einer Windrichtung innerhalb eines gewissen Zeitabschnittes bleibt sich für die verschiedenen Länder Europa's nicht gleich. Durch die Configuration des Landes, durch die Nähe der See, durch hohe Gebirgsrücken oder flache unbewaldete Strecken wird die Richtung des Windes häufig modificirt.

Die nachstehende Tabelle gibt an, wie oft unter 1000 Winden der Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd, Südwest, West und Nordwest geweht habe.

	N.	N.O.	O.	S.O.	S.	S.W.	W.	N.W.	Summe der östlichen Winde	Summe der westl. Winde
England	82	111	99	81	111	225	171	120	291	576
Frankreich u. Niederlande	126	140	84	76	117	192	155	110	300	457
Deutschland	84	98	119	87	97	185	198	131	304	514
Dänemark	65	98	100	129	92	198	161	156	327	515
Schweden	102	104	80	110	128	210	159	106	294	475
Rußland und Ungarn	99	191	81	130	98	143	166	192	402	501

An diese Zahlen knüpft Schouw folgende Schlüsse:

Die westlichen Winde (N. W., W., S. W.) haben über die östlichen (N. O., O., S. O.) in ganz Europa die Oberhand.

Der Westwind ist häufiger, als der Ostwind.

Das Uebergewicht der westlichen gegen die östlichen Winde nimmt vom Atlantischen Meere gegen das Innere von Europa hin ab. Es beträgt z. B. für England 1 : 1,7; für Rußland und Ungarn 1 : 1,2. Doch macht Frankreich von dieser Regel eine Ausnahme.

Betrachtet man die Vertheilung der Winde auf die vier Jahreszeiten, so ergibt sich, daß im westlichen und mittlern Theil von Nordeuropa das Uebergewicht der westlichen über die östlichen Winde im Sommer viel bedeutender, als im Winter und Frühjahr ist. In den östlichen Theilen (Rußland und Schweden) scheint dieses dagegen nicht der Fall zu sein. Die westlichen

Winde sind im Winter mehr südlich, im Sommer mehr nördlich, oder gerade West. Doch machen auch hier Rußland und Schweden eine Ausnahme.

Daß das Uebergewicht der westlichen über die östlichen Winde im Osten von Europa (Rußland) nicht so bedeutend ist, als im Westen, soll nach Schouw daher rühren, weil der Südwest- oder Westwind, je mehr er in das Innere des Europäischen Continents vordringt, um so mehr in seiner Stärke geschwächt wird durch die Gebirge, welche sich ihm entgegenstellen. In dem ebenen Rußland findet der Nordostwind kein solches Hinderniß; es muß daher der Westwind gegen ihn im Kampfe unterliegen. — Daß im westlichen Europa im Sommer die westlichen Winde die östlichen überwiegen, soll in der verschiedenen Erwärmung von Meer und Land seinen Grund haben. Die Temperatur des Bodens steige im Sommer höher, als die des Meeres, es werde deßhalb die kältere, über dem Meer schwebende Luft nach dem Lande hinströmen. Der Ostwind könne, obgleich aus dem kälteren Norden kommend, diese Rolle nicht übernehmen, weil er sich, wenn er über das Russische Festland geht, erwärme, wodurch er höher, als der Westwind temperirt werde. — Daß die westlichen Winde im Winter mehr südlich werden, als im Sommer, wo sie mehr rein West oder Nordwest sind, komme daher, weil im Winter der Boden weniger stark erwärmt werde, deßhalb kein Zuströmen der Luft aus West oder Nordwest nöthig sei.

9. Temperatur der Winde.

Die Winde bringen die Temperatur der Gegenden mit, aus welchen sie wehen. Deßwegen sind bei uns die Südwinde im Allgemeinen warm, die Nordwinde kalt. Der Ostwind hat die Eigenthümlichkeit, daß er im Sommer wärmer, als der Südwind, im Winter dagegen fast eben so kalt, als der Nord- und Nordostwind ist. Der Ostwind kommt über die große Russische Ebene, die wegen Mangel an Feuchtigkeit im Sommer sich sehr stark erwärmt; wie wir später sehen werden, ist dieser Wind zugleich sehr trocken, er löst also die Wolken auf und stellt eine reine, ungetrübte Luft her. Die Sonnenstrahlen können deßhalb ungehindert zum Boden gelangen und diesen erwärmen. Im Sommer ist dagegen der Süd- und Südwestwind gewöhnlich feucht und von Wolken begleitet, welche die Strahlen der Sonne von der Erde abhalten. Da nun die Erdoberfläche im Sommer mehr Wärme von der Sonne empfängt, als ihr durch die Ausstrahlung verloren geht, so ist klar, daß der heitere Himmel, den der Ostwind herstellt, eine sehr starke Erwärmung der Luft herbeiführen muß, während durch die trübe Witterung bei Süd- und Südwestwind die Temperatur erniedrigt wird. Im Winter ist es anders. Zu dieser Jahreszeit ist die Wärmeausstrahlung vorwiegend und es wird deßhalb durch den bedeckten Himmel bei Süd- und Südwestwinden die Erde vor Erkaltung geschützt.

Die nachstehende, für Carlsruhe entworfene, Tafel gibt die bei den ver-

schiedenen Winden beobachteten Temperaturen an. Die Grade beziehen sich auf die Reaumur'sche Scale.

	N.	N.O.	O.	S.O.	S.	S.W.	W.	N.W.	Mittel
Winter	—1°,1	—2°,4	—2°,5	1°,4	3°,6	4°,3	3°,7	1°,0	1°,1
Frühling	9,4	9,2	11,4	13,9	13,7	11,7	10,8	10,4	11,3
Sommer	17,9	19,3	21,0	20,1	19,4	19,1	19,2	18,5	19,4
Herbst	9,4	8,6	9,7	11,0	11.5	11,4	11,4	10,8	10,5
Jahr	9,5	9,1	9,5	10,9	12,1	12,5	11,8	10,9	10,8

Im Winter, wenn die Sonne, ihres niedrigen Standes halber, wenig Kraft hat, hängt die Temperatur der Luft hauptsächlich von der Windrichtung ab. Doch kommen auch wohl Anomalien vor. So brachte z. B. der anhaltende Südwind im Winter 18$\frac{4}{4}\frac{1}{2}$ sehr kaltes Wetter.

Der heiße Sirocco in Italien und der Solano in Spanien sind wohl mit Unrecht von dem Samum der Wüste Sahara abgeleitet worden. Da der Sirocco sich nicht auf derjenigen Küste der Insel Sicilien, welche Afrika zunächst liegt, sondern erst im Innern des Landes in größter Stärke zeigt, so ist es nach Kämtz wahrscheinlich, daß er auf den unbewaldeten Felsen Siciliens entsteht. Ebenso erzeugt sich der Solano wohl in Spanien selbst, dessen ausgedehnte dürre Steppen im Sommer eine sehr hohe Temperatur annehmen.

10. Stürme.

Die heftigsten Stürme (Orkane, Hourrakans, Ouragans), welche eine Geschwindigkeit von 43 Metern in der Sekunde erreichen, kommen nur in der heißen Zone, ganz besonders aber in der Region der Calmen vor, woselbst sie ihre Entstehung der plötzlichen Verdichtung des Wasserdampfes, mit welchem die Luft in diesen Gegenden stark beladen ist, verdanken. Diese Orkane sind immer Wirbelwinde, deren Drehungspunkt eine fortschreitende Bewegung hat. Ihre Kraft ist so groß, daß durch dieselbe nicht blos Bäume entwurzelt, sondern selbst steinerne Häuser umgeworfen werden.

Außerhalb der Wendekreise erreichen die Stürme diese Heftigkeit nicht; wahrscheinlich übersteigt die Geschwindigkeit der Stürme in unsern Gegenden niemals 30 Meter in der Sekunde.

In der gemäßigten Zone treten die Stürme vorzüglich zur Zeit der Aequinoctien, also gegen das letzte Drittel der Monate März und September, ein. Sie entstehen alsdann in Folge der großen Temperaturdifferenzen, welche zwischen den Wendekreisen und den nördlichen Breiten herrschen. Im Winter erkaltet die Atmosphäre, sowie der Boden in unsern Gegenden und in der Polarzone; zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums befindet sich die Sonne gerade über dem Aequator und steigt nachher über die nördliche Halbkugel. Es wird deßhalb in der Nähe des Aequators eine starke Erwärmung eintreten und sowohl die erhitzte Luft mit großer Gewalt nach Norden, als auch die

kalte Luft von den Polen nach dem Aequator hinströmen. Es entspinnt sich ein heftiger Kampf zwischen dem Südwest- und dem Nordostwind, welcher erst dann ein Ende nimmt, wenn die Temperaturen sich gehörig ausgeglichen haben. Im Herbst finden ähnliche Verhältnisse statt; die Sonne begibt sich dann auf die südliche Halbkugel und die Luft in der Polarzone ist schon stark erkaltet, während sie in der gemäßigten Zone eine noch verhältnißmäßig hohe Temperatur behauptet.

Die stärksten Stürme kommen in Deutschland aus südwestlicher, westlicher und nordwestlicher Richtung, wobei der Sturm von Südwest nach Nordwest sich dreht. In Küstenländern gehen die Stürme aber stets vom Meere aus.

Außerhalb der Aequinoctialzeit halten die Stürme die angegebenen Richtungen nicht immer ein. So war z. B. der heftige Sturmwind im Juli 1841, der großen Schaden anrichtete, ein rein südlicher.

Daß durch Thäler und Berge den Stürmen oft abweichende Wege angewiesen werden, haben wir schon früher erwähnt.

Siebentes Buch.

Hydrometeore.

Erster Abschnitt.

Von der Verdunstung.

1. Dunst, Dampf.

Die flüssigen, ja selbst auch viele feste Körper, besitzen die Eigenschaft, bei gewissen Temperaturen in den gasförmigen Zustand überzugehen. Tritt letzterer blos an der Oberfläche ein, so heißt der Prozeß Verdunstung; findet er aber durch die ganze Masse der Flüssigkeit statt, so nennt man ihn Verdampfung. Indessen unterscheidet weder der gewöhnliche, noch der wissenschaftliche Sprachgebrauch diese beiden Ausdrücke ganz genau. Dampf bildet sich nur, wenn die Flüssigkeit zum Sieden gekommen ist. Aus Wasser erzeugt sich Dunst bei jeder Temperatur, man hat gefunden, daß sogar das Eis verdunstet.

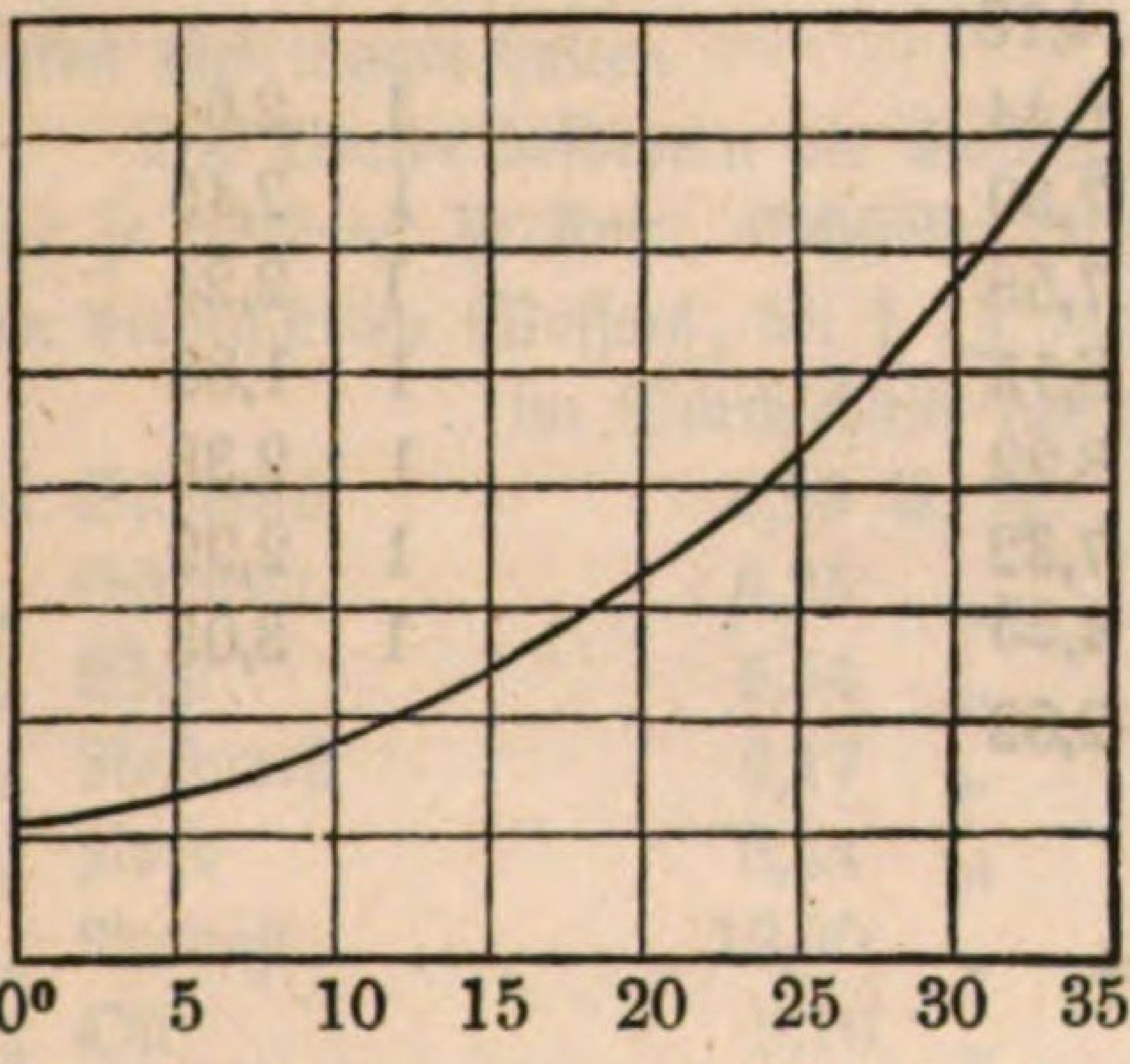
2. Maß der Verdunstung.

Die Menge Dunst, welche in einem gewissen Raum, z. B. einem Kubikfuß, sich bilden kann, wenn genug Wasser zur Dunsterzeugung vorhanden ist, hängt blos von der Temperatur dieses Raumes ab und nimmt mit dieser, wiewohl nicht in geradem Verhältnisse, zu. Deßhalb kann im Sommer die Luft viel mehr Feuchtigkeit aufnehmen, als im Winter.

Die nachstehende Uebersicht zeigt, wie viel Wasserdampf bei den angegebenen Temperaturen in dem Raume eines Kubikmeters höchstens enthalten sein kann.

Temperatur	Gewicht des Dampfes
	Gramme
—20°	1,5
—10	2,9
0	5,4
10	9,7
20	17,1

Fig. 105.



In neben stehender Fig. bedeuten die Abscissen die Temperaturen, die Ordinaten die größte Menge Dunst, welche bei diesen Temperaturen aufgenommen werden kann. Wie man sieht, wachsen die Feuchtigkeitsmengen in viel stärkerm Verhältnisse, als die Temperaturen.

Enthält die Luft gerade so viel Feuchtigkeit, als sie bei der bestehenden Temperatur aufzunehmen vermag, so sagt man, sie sei gesättigt. Ist die Menge Wasser, welche verdunsten kann, eine begrenzte und unzureichende, so wird die Luft sich nicht mit Feuchtigkeit sättigen können.

Absolute Feuchtigkeitsmenge wird die Quantität von Wasserdampf genannt, welche eben gerade in der Luft befindlich ist. Unter relativer Feuchtigkeit versteht man das Verhältniß der absoluten Feuchtigkeit zu der bei der betreffenden Temperatur überhaupt aufnehmbaren Dampfmenge, also zu dem Wasserdampfmaximum. Die relative Feuchtigkeit läßt sich daher durch einen Bruch ausdrücken. Es sei z. B. die Temperatur $= 10^0$ und es seien in einem Cubikmeter Luft 5 Gramme Dampf enthalten, so ist die relative Feuchtigkeit $= \frac{5}{9,7} = 0,515$. Je mehr dieser Quotient 1 sich nähert, um so feuchter ist die Luft, um so näher steht sie also dem Sättigungspunkte; ist der Quotient klein, so sagt man, die Luft sei trocken.

Um die Größe der Verdunstung zu ermitteln, bedient man sich der sog. Atmometer, d. h. Verdunstungsmesser. Das Instrument besteht ganz einfach aus einem Gefäße, welches mit einer Scale versehen ist und mit Wasser gefüllt wird. Für genauere Untersuchungen, insbes. beim Eise, muß aber die Menge der verflüchtigten Feuchtigkeit durch das Gewicht bestimmt werden.

Die Verdunstung wird befördert

a. durch Wärme.

Es verdunstet daher mehr Feuchtigkeit in den Sommermonaten, als im

Frühling, Herbst und Winter, mehr im Sonnenschein, als in dem Schatten. Die folgenden Versuche von Schübler und Stark geben das Verhältniß genauer an.

Monat	Verdunstung in Zollen im Schatten a	im Sonnenschein b	Verhältniß von a : b
Januar	0,46		
Februar	0,51		
März	1,74	4,18	
April	2,42	6,44	1 : 2,64
Mai	2,99	7,39	1 : 2,45
Juni	3,41	7,58	1 : 2,24
Juli	4,31	8,15	1 : 1,88
August	3,44	8,22	1 : 2,39
September	2,24	7,32	1 : 2,99
October	1,41	4,25	1 : 3,03
November	0,53	2,82	
December	0,50		

b. Durch Verminderung des Luftdruckes.

Es kann zwar der leere Raum nicht mehr Wasserdunst aufnehmen, als der lufterfüllte; allein in letzterm verdunstet das Wasser bei weitem nicht so schnell, als in ersterem, weil die Luft die aufsteigende Bewegung des Dunstes hindert. Diese findet im luftleeren Raume mit einer Geschwindigkeit von 500—600 Metern in der Sekunde statt. Je dünner also die Luft ist, um so rascher wird die Verdunstung von statten gehen. Deßhalb verflüchtigen die Blätter der Bäume auf Bergen, bei gleicher Temperatur, mehr Feuchtigkeit, als in der tiefer gelegenen Ebene.

Früher war man der Ansicht, der Wasser-Dampf und Dunst löse sich in der Luft gerade so auf, wie ein fester Körper in einer Flüssigkeit, also z. B. Zucker in Wasser. Diese Theorie mußte aber fallen gelassen werden, als man sah, daß Wasser im Vacuum der Luftpumpe viel schneller verdunstet, als im lufterfüllten Raum. — Woher kommt es aber, daß der Wasserdampf, dessen specifisches Gewicht = 0,62 ist, wenn man das der Luft = 1 setzt, sich selbst an der Erdoberfläche vollständig mit der Luft mengt, während er doch, seiner größern Leichtigkeit halber, sich in die höhern Regionen der Atmosphäre begeben sollte? Dies rührt von der ungleichen specifischen Expansivkraft des Wasserdampfes und der Luft her, die sich gegenseitig in's Gleichgewicht des Druckes zu setzen suchen. Die Eigenschaft der Gase und Dämpfe, sich vollständig mit einander zu mengen, nennt man Diffusion.

c. Durch Luftzug.

Wenn ein feuchter Körper längere Zeit mit der Luft in Berührung ist, so nimmt dieselbe so viel Dunst auf, als der herrschenden Temperatur entspricht, nachher hört die Verdunstung auf. Wird aber die mit Feuchtigkeit gesättigte Luft durch Wind entfernt und an ihre Stelle eine trockene Luftschicht gebracht, so kann die Verdunstung von Neuem vor sich gehen.

Daher kommt es, daß auf ungeschützten Bergen, überhaupt in exponirten Lagen der Boden so schnell austrocknet, während Thäler und Mulden die Feuchtigkeit viel länger halten.

Die Winde befördern die Verdunstung um so mehr, je stärker sie wehen und je trockener sie sind. Schübler fand die Menge des innerhalb 24 Stunden verdunsteten Wassers, bei 1 □ Fuß Oberfläche:

	im Durchschnitt des Jahres	im Sommer	im Winter
bei Südwind	6,29 C. Z.	12,65 C. Z.	1,02 C. Z.
„ Südwest	6,25 „	9,85 „	2,32 „
„ West	6,54 „	12,26 „	1,34 „
„ Nordwest	9,17 „	12,77 „	0,90 „
„ Nord	8,44 „	12,92 „	1,30 „
„ Nordost	12,90 „	15,49 „	1,57 „
„ Ost	9,76 „	15,50 „	1,65 „
„ Südost	7,10 „	14,17 „	0,86 „

Hieraus geht hervor, daß die Verdunstung im Sommer bei Nordost-, Ost- und Südostwind, im Winter dagegen bei Südwestwind am größten ist. Die Ostwinde sind deßhalb so trocken, weil sie zuerst über die dürren Asiatischen Steppen streichen, dann ihre Feuchtigkeit am kalten Uralgebirge absetzen und auf ihrem weitern Wege durch die Ebenen des Europäischen Rußlands sich nicht wieder mit Feuchtigkeit beladen können. Daß bei Südwestwind im Winter die Verdunstung verhältnißmäßig stark ist, rührt blos von der höhern Temperatur dieses Windes her.

Weiter fand Schübler, daß aus einem Behälter, in welchem die Oberfläche des Wassers 1 Pariser Quadratfuß einnahm, innerhalb 24 Stunden verdunsteten

	bei windstillem Wetter	bei windigem Wetter
im Winter	0,98 Cubikzolle	3,91 Cubikzolle
„ Frühling	8,51 „	11,68 „
„ Sommer	11,92 „	19,84 „
„ Herbst	6,57 „	14,94 „
im ganzen Jahr	6,65	13,32

so daß also bei windiger Witterung im Mittel doppelt so viel Wasser verdunstete, als bei Windstille.

In geschlossenen Holzbeständen hält sich die Feuchtigkeit mehr, als auf Blö-

ßen oder in räumlich stehendem Holze. Waldmäntel wirken der Verdunstung entgegen.

d. **Durch Vergrößerung der verdunstenden Oberfläche.**

Dies ist an und für sich klar, denn bei der gewöhnlichen Verdunstung entwickeln sich keine Dämpfe im Innern, sondern nur an der Oberfläche der Flüssigkeit.

Schübler stach einen Rasen, bestehend aus Poa annua, in einer Größe von einem Quadratfuß aus, brachte ihn in ein eben so großes Gefäß und bestimmte seine Verdunstung durch öfteres Wiegen. Gleichzeitig beobachtete er die Verdunstung einer eben so großen Wasserfläche. Er fand

	die Verdunstung in 24 Stunden			
Tag	Wasserfläche	Gras	Verhältniß	Bemerkungen.
28. Juli	10,3	37,3	1 : 3,61	Das Gras war den Tag zuvor, den 27. Juli, begossen worden.
29. „	15,7	44,0	1 : 2,80	
30. „	12,8	35,4	1 : 2,77	
31. „	17,2	43,9	1 : 2,55	
1. August	17,4	46,9	1 : 2,69	
2. „	28,3	47,7	1 : 1,65	heiß, Mittags + 24°,2 R.
3. „	17,0	15,1	1 : 0,88	Das Gras fing den 3. zu welken an, es wurde am Abend dieses Tags auf's neue begossen, wodurch es sich erholte, nur einzelne Blätter starben ab.
4. „	21,8	37,5	1 : 1,72	
5. „	9,9	17,4	1 : 1,75	
6. „	5,3	11,5	1 : 2,13	
7. „	16,4	27,6	1 : 1,68	

Wir sehen, daß der Rasen zwei- bis dreimal so viel verdunstete, als eine gleich große Wasserfläche und können uns dies nur durch die größere Oberfläche des Grases, welche der Luft mehr Berührungspunkte darbietet, erklären. Uebrigens verhalten sich nicht alle Pflanzen so wie die Gräser, von den meisten Crassulaceen z. B., ist es bekannt, daß sie Monate lang auf einem ganz dürren Standort vegetiren können. Wäre bei diesen Pflanzen die Verdunstung so groß, als beim Grase, so würden sie bald ihre eigene Saftfeuchtigkeit verloren haben und absterben.

Die Verdunstungsfähigkeit der Pflanzen hängt von ihrer innern Textur und ganz besonders von der Beschaffenheit der Epidermis ab. Doch kann im günstigsten Falle eine Pflanze nur so viele Feuchtigkeit an die Atmosphäre abgeben, daß diese damit gesättigt ist. Dieses Maß erleidet keine Ueberschreitung. Wohl kann aber die eigenthümliche Beschaffenheit einer Pflanze bewirken, daß diese weniger verdunstet, als zur Sättigung der Luft erforderlich ist. Die Verdunstung des Rasens, welchen Schübler zu dem vorhin angeführten Versuche benutzte, verminderte sich in dem Maße, als die Reife des Grases heran-

rückte. Es gab also die große Oberfläche des Grases zwar die Möglichkeit einer starken Verdunstung ab, doch war dieselbe nicht die einzige Bedingung hierfür.

Völlig durchnäßter Boden verdunstet, nach den Beobachtungen Schüblers, von vorn herein mehr Feuchtigkeit, als eine gleich große Wasserfläche, weil, wie Schübler sehr richtig bemerkt, die unebene Oberfläche des Bodens der Luft mehr Berührungspunkte darbietet. Sobald aber der Boden oberflächlich abgetrocknet ist, kehrt sich das Verhältniß um. Im Winter, wo die Erde mehr mit Feuchtigkeit gesättigt ist, verdunstet der Boden durchgängig stärker, als das Wasser, wie die folgenden Versuche, welche im Jahr 1796 im botanischen Garten zu Genf angestellt wurden, ergeben.

Jahreszeit	Ein Quadratfuß verdunstet in 24 Stunden		Verhältniß
	Erde	Wasser	
Winter	3,75 C. Z.	0,96 C. Z.	1 : 0,25
Frühling	5,24 „	18,16 „	1 : 3,46
Sommer	9,47 „	27,90 „	1 : 2,94
Herbst	5,08 „	24,46 „	1 : 4,81

„In dem nämlichen Jahre fielen zu Genf 24,8 Par. Zoll Regenwasser es verdunsteten von einer Wasserfläche 44,7, von einer gleich großen Erdfläche 14,9 Zoll; über 1/3 oder 9,9 Zoll des gefallenen Regens verflüchtigte sich daher nicht durch Verdunstung von der Erdfläche, sondern lief von dem Erdreich ab, oder drang in die Tiefe, wo es zur Bildung von Quellen oder zur Ernährung von Vegetabilien verwandt werden konnte.“ Schübler.

e. Durch Trockenheit der Luft.

Wenn die Luft einmal mit Feuchtigkeit gesättigt ist, so hört die Verdunstung auf. Je trockener also die Atmosphäre ist, um so mehr Feuchtigkeit wird von Seiten des Bodens, des Wassers und der Pflanzen verflüchtigt werden. Wird die gesättigte Luftschichte, welche einen zur Verdunstung geeigneten Gegenstand umgibt, entfernt, so beginnt die letztere von Neuem.

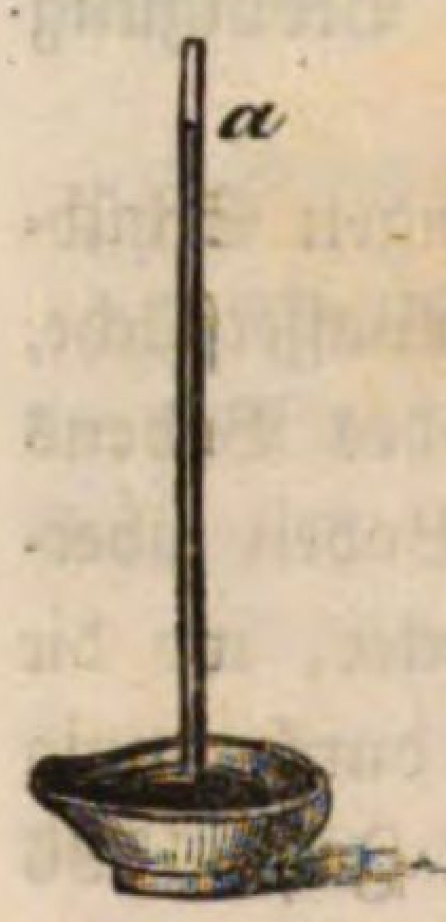
f. Durch eine dunkle Farbe des verdunstenden Gegenstandes.

Dunkel gefärbte Körper erwärmen sich stärker; enthalten sie in ihren Zwischenräumen Wasser, so theilt sich diesem die höhere Temperatur mit und es verdunstet schneller. Deshalb ist z. B. durch Kohle, organische Reste oder Eisen dunkel gefärbter Thon im Allgemeinen trockener, als weißer oder grauer Thon.

3 Spannkraft der Dünste.

Läßt man in den obern leeren Raum einer Barometerröhre (Fig. 106.)

Fig. 106.



welche unten in ein Gefäß mit Quecksilber taucht, etwas Wasser treten, so verdunstet ein Theil desselben augenblicklich und es sinkt das Quecksilber in der Röhre um einen Betrag, der von der herrschenden Temperatur abhängt. Die Schwere des Wassers und des Dampfes kann nicht die Ursache dieser Erscheinung sein, man muß sie vielmehr der abstoßenden Kraft — Spannkraft, zuschreiben, welchen den kleinsten Theilchen des Dunstes inne wohnt. Hat sich nicht sämmtliches Wasser im Vacuum verflüchtigt, so enthält letzteres offenbar das Maximum von Dampf, welchen es bei der bestehenden Temperatur aufnehmen kann, und der Dampf hat für diese Temperatur das Maximum seiner Spannkraft erreicht. Letztere wird durch die Differenz zwischen dem Stande des Quecksilbers in der zu dem obigen Versuche benutzten Röhre und in einem andern Barometer gemessen. So beträgt z. B. bei einer Temperatur von 10° das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes 9,5 Millimeter; d. h. das Quecksilber im Vacuum der Barometerröhre wird durch Wasserdampf von 10° um 9,5 Millimeter herabgedrückt.

Taucht man die Röhre etwas weiter in das Quecksilber ein, so wird dieses in der Röhre selbst steigen; gleichzeitig verdichtet sich ein Theil des vorhin gebildeten Dampfes, ohne daß die Spannkraft des übrig bleibenden abnimmt. Zieht man dagegen die Röhre etwas aus dem Quecksilber heraus, so erzeugt sich mehr Dampf, allein ebenfalls ohne Aenderung der Spannkraft. War dagegen schon sämmtliches Wasser in Dampf übergegangen, ehe man die letzterwähnte Manipulation vornahm, so vermindert sich die Spannkraft des Dampfes. Damit also der Wasserdampf bei irgend einer Temperatur das Maximum seiner Spannkraft erreichen kann, ist es erforderlich, daß genug Wasser zur Dampfbildung vorhanden sei. — Wird eine gewisse Menge Dampf erwärmt, so nimmt die Spannkraft desselben zu, sie kommt aber nur dann auf das Maximum ihres Werthes, wenn noch Flüssigkeit zugegen ist, aus welcher sich so viel neuer Dampf bilden kann, als der erhöhten Temperatur entspricht.

Wird eine mit Dampf gesättigte Luftschichte abgekühlt, so schlägt sich Wasser in tropfbar flüssiger Gestalt nieder, gleichzeitig sinkt die Spannkraft des zurückbleibenden Dampfes.

Durch Versuche hat man das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes bei verschiedenen Wärmegraden ermittelt. Wir theilen die gefundenen Resultate in der nachstehenden Tabelle mit und bemerken zum Verständniß derselben noch, daß die mit mm. überschriebenen Zahlen angeben, um wie viele Millimeter die Höhe des Quecksilbers im Barometer bei der neben angefügten Temperatur sinkt, wenn im Vacuum des Barometers so viel Wasserdampf sich befindet, als dieser Raum bei jener Temperatur aufzunehmen vermag.

Temperatur Grade	Gr. Spannkraft mm.	Temperatur Grade	Gr. Spannkraft mm.
— 20	1,3	8	8,4
— 19	1,4	9	8,9
— 18	1,5	10	9,5
— 17	1,6	11	10,1
— 16	1,8	12	10,7
— 15	1,9	13	11,4
— 14	2,0	14	12,1
— 13	2,1	15	12,8
— 12	2,3	16	13,6
— 11	2,4	17	14,5
— 10	2.6	18	15,4
— 9	2,8	19	16,3
— 8	3,0	20	17,3
— 7	3,2	21	18,3
— 6	3,5	22	19,4
— 5	3,7	23	20,6
— 4	3,9	24	21,8
— 3	4,1	25	23,1
— 2	4,4	26	24,4
— 1	4,7	27	25,9
0	5,0	28	27,4
+ 1	5,4	29	29,0
2	5,7	30	30,6
3	6,1	31	32,4
4	6,5	32	34,3
5	6,9	33	36,2
6	7,4	34	38,3
7	7,9	35	40,4

4. Gewicht des Wasserdampfes.

Ist die Spannkraft des Wasser-Dampfes oder Dunstes bekannt, so läßt sich daraus das Gewicht desselben für ein bestimmtes Raummaß, z. B. den Kubikmeter, berechnen. Es wiegt nämlich ein Kubikmeter Luft bei 0° Temperatur und 760 Mm. Barometerstand 1299 Grammen. Da der Wasserdampf bei gleicher Temperatur und gleichem Barometerstand nur 0,62 vom Gewicht der Luft hat, so wiegt ein Kubikmeter Wasserdampf nur 1299. 0,62=805,38 Gramme. Bei einem Mm. Spannkraft beträgt dieses Gewicht $\frac{805,38}{760}$=1,06 Gramme. Von 0° bis t° dehnt sich der Dampf im Verhältniß von 1 : 1+0,00366t

aus, in dem nämlichen Verhältniß wird er aber leichter, es ist deshalb das Gewicht eines Cubikmeters Dampf bei t^0 und b Barometerstand $= \frac{1{,}06\ b}{1+0{,}00366\ t}$ Gramme.

Nachstehend theilen wir eine Tabelle mit, in welcher angegeben ist, wie viel der in dem Raum eines Cubikmeters enthaltene Wasserdampf wiegt, wenn dieser Raum bei der nebenangefügten Temperatur mit Dampf gesättigt ist.

Temperatur	Gewicht des in 1 C. M. enthaltenen Wasserdampfs	Temperatur	Gewicht des in 1 C. M. enthaltenen Wasserdampfs
Grade	Gramme	Grade	Gramme
— 20	1,5	8	8,7
— 19	1,6	9	9,2
— 18	1,8	10	9,7
— 17	1,9	11	10,3
— 16	2,0	12	10,9
— 15	2,1	13	11,6
— 14	2,3	14	12,2
— 13	2,4	15	13,0
— 12	2,6	16	13,7
— 11	2,7	17	14,5
— 10	2,9	18	15,3
— 9	3,1	19	16,2
— 8	3,3	20	17,1
— 7	3,5	21	18,1
— 6	3,7	22	19,1
— 5	4,0	23	20,2
— 4	4,2	24	21,3
— 3	4,5	25	22,5
— 2	4,8	26	23,8
— 1	5,1	27	25,1
0	5,4	28	26,4
+ 1	5,7	29	27,9
2	6,1	30	29,4
3	6,5	31	31,0
4	6,9	32	32,6
5	7,3	33	34,4
6	7,7	34	36,2
7	8,2	35	38,1

5. Hygrometrie.

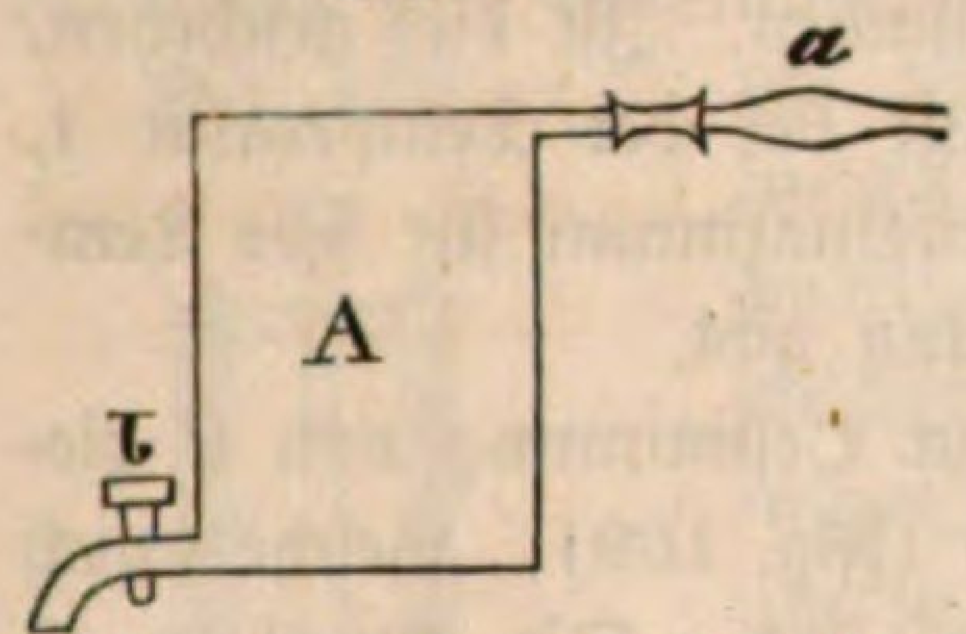
Die Hygrometrie hat zum Zwecke, die absolute Menge des in einem gewissen Volum Luft enthaltenen Wasserdampfes, so wie den relativen Feuch-

tigkeitsgrad zu bestimmen. Die hauptsächlichsten Arten von Hygrometern sind folgende:

a. **Der Brunner'sche Apparat**

Ein Gefäß A (Fig. 107.) von bekanntem Rauminhalt steht in Verbindung mit einer Röhre, in welcher sich trocknes, abgewogenes Chlorcalcium a befindet. A ist mit Oel gefüllt; sobald der Hahn b geöffnet wird, fließt dieses ab, indem die Luft in die Röhre einströmt. Das Chlorcalcium hält alle Feuchtigkeit der Luft zurück, wenn man nur dafür sorgt, daß das Oel nicht zu schnell abfließt. Nach Beendigung des Versuches ergibt die Gewichtszunahme des Chlorcalciums, wie viel Wasserdampf in einem Luftraum A enthalten war.

Fig. 107.

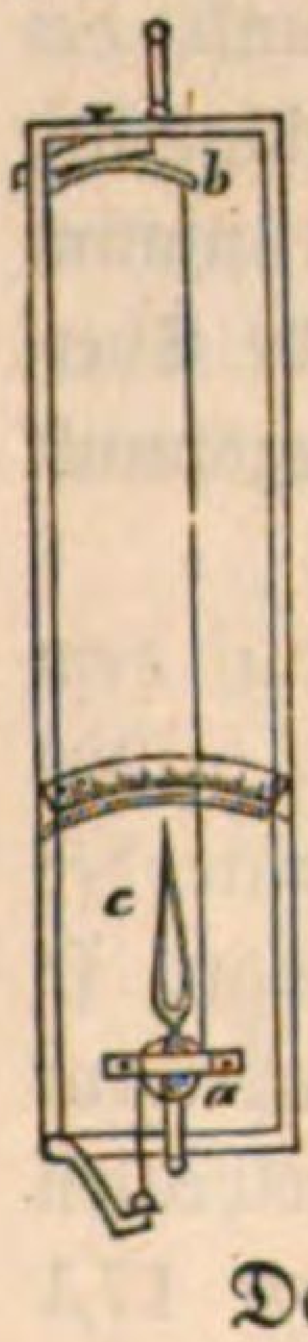


Der Brunner'sche Apparat gibt ein directes und zuverlässiges Resultat, ist dagegen wegen des Zeitaufwandes, den jede einzelne Untersuchung erfordert, nicht mehr anwendbar, wenn man den Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre öfters, z. B. täglich, ermitteln will.

b. **Das Saussure'sche Haarhygrometer.**

Ein durch Kalilauge oder durch Aether von den anhängenden Helttheilchen befreites Menschenhaar wird mit dem einen Ende um eine Rolle a geschlungen, die mit einem Zeiger c versehen ist (Fig. 108), an dem andern Ende an einem Träger b befestigt. Das Haar hat die Eigenschaft, sich in feuchter Luft auszudehnen, in trockener dagegen zu verkürzen. Beide Zustände macht der Zeiger an einem seitwärts angebrachten Gradbogen bemerklich. Um eine Scale für dieses Hygrometer zu construiren, bringt man es zuerst in einen mit Wasserdampf vollständig gesättigten und dann in einen künstlich getrockneten Raum. Es werden dadurch auf dem Gradbogen zwei Punkte fixirt werden, die man mit 100 und 0 bezeichnet. Die zwischen diesen beiden Punkten befindliche Länge wird dann in 100 Grade eingetheilt.

Fig. 108.



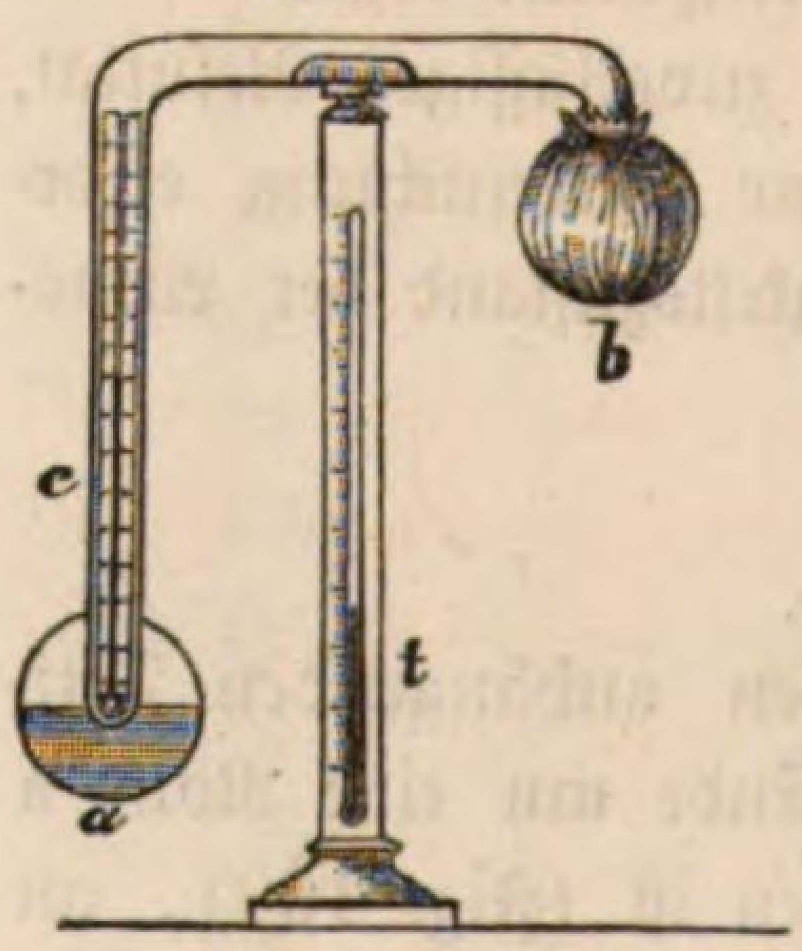
Das Saussure'sche Hygrometer hat vor dem Brunnerschen Apparat den großen Vorzug, daß es die Anstellung eines besondern Versuchs überflüssig macht, weil man den Feuchtigkeitszustand der Luft bei ihm durch bloses Ablesen erfährt. Dagegen leidet es an dem Mißstand, daß nicht alle Instrumente dieser Art gleichen Gang haben. Dieser ändert sich sogar bei einem und demselben Hygrometer im Laufe der Zeit, weil das Haar, wie alle organischen Körper, von dem Sauerstoff der Luft angegriffen und in den Zustand der Verwesung versetzt wird.

c. Daniell's Hygrometer.

Wir haben oben gesehen, daß es für jede Temperatur ein Maximum der Feuchtigkeit gibt, welches die Luft aufnehmen kann und daß dieses Maximum mit der Temperatur wächst. Besitzt die Luft die Temperatur t und ist sie nicht mit Feuchtigkeit gesättigt, so gibt es jeden Falls eine niedrigere Temperatur t', für welche der vorhandene Wasserdampf zur Sättigung ausreicht. Es handelt sich daher nur darum, t' ausfindig zu machen. Ist dies geschehen, so kennt man auch den Feuchtigkeitsgehalt der Luft bei der Temperatur t, vorausgesetzt, daß man schon früher das Feuchtigkeitsmaximum für jede Temperatur ermittelt habe, wozu 3. und 4. die Anleitung gibt.

Daniell hat einen Apparat erdacht, welcher zur Bestimmung von t' dienen kann. Er besteht aus zwei Kugeln a und b (Fig. 109), welche durch eine Glasröhre verbunden sind. Die Kugel a ist zur Hälfte übergoldet und mit Aether gefüllt; b ist mit Mousselin umwickelt. Träufelt man auf die Kugel b etwas Aether, so verdunstet dieser sehr rasch und bindet dabei Wärme. Dies hat zur Folge, daß die Aetherdämpfe, welche aus a fortwährend aufsteigen und nach b überdestilliren, sich verdichten. Es erzeugt sich deshalb neuer Dampf in a und der zurückbleibende Aether erkaltet ebenso, wie dies bei der Kugel b der Fall war. Ist die Temperatur von a so weit gesunken, daß der Sättigungspunkt der Luft, welche a umgibt, um etwas weniges überschritten wird, so schlägt sich ein Theil des Wasserdampfes auf der Vergoldung nieder. Man nimmt ihn als einen leichten Thau wahr. Das in die Kugel a hineinragende Thermometer c gibt die Temperatur an, bei welcher die Luft ihren Sättigungspunkt erreicht hatte.

Fig. 109.



Nehmen wir an, die Temperatur der Luft, welche durch das auf dem Träger befindliche Thermometer t bestimmt wird, sei vor dem Versuche $=20^0$ gewesen und es habe das Thermometer in der Röhre c bei dem Eintritte des Wasser-Dampf-Niederschlags auf a eine Temperatur von 10^0 angezeigt, so ist klar, daß die Luft nur so viele Feuchtigkeit enthielt, als bei der Temperatur von 10^0 zur Sättigung hingereicht hätte. Aus der unter 4. mitgetheilten Tabelle ersehen wir, daß ein Kubikmeter Luft bei 20^0 im Maximum 17,1 Gramme Wasser aufnehmen kann; in dem vorliegenden Fall enthält sie aber nur 9,7 Gramme in einem Kubikmeter, der relative Feuchtigkeitszustand dieser Luft ist demnach $= \frac{9,7}{17,1} = 0,57$, oder sie ist etwas mehr als zur Hälfte gesättigt.

Auch das Daniell'sche Hygrometer eignet sich wenig zu fortgesetzten Beobachtungen, weil jede Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Luft mittelst dieses Instrumentes die Anstellung eines eigenen, zeitraubenden Ver-

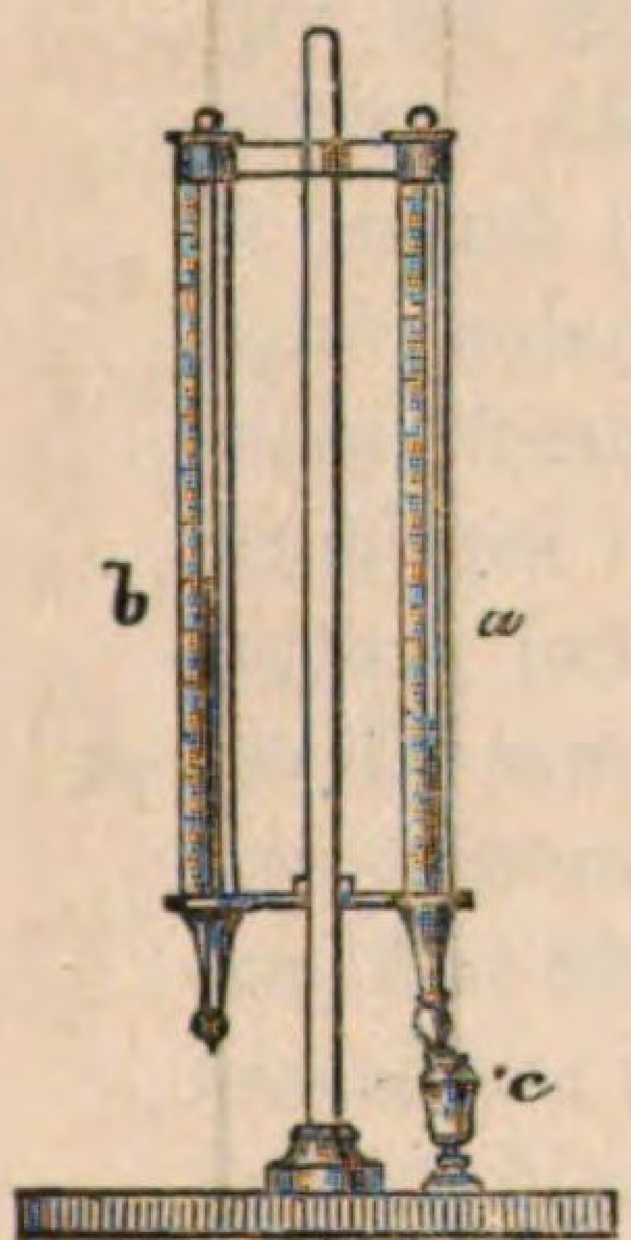
suches nöthig macht. Ist die Luft weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt, so gelingt es oft gar nicht, einen Niederschlag auf der Vergoldung zu erzeugen.

Von den Mißständen der bis jetzt beschriebenen Hygrometer ist frei

d. **August's Psychrometer.**

Zwei Thermometer a und b (Fig. 110.) sind neben einander aufgehängt; die Kugel des Thermometers a ist mit Mousselin überzogen, welcher in das mit Wasser gefüllte Gefäß c hinabreicht. Ist die Luft, welche die Mousselinhülle umgibt, mit Feuchtigkeit nicht gesättigt, so wird der Mousselin einen Theil des Wassers, welches er mittelst Haarröhrchen kraft aus dem Gefäß c emporzieht, verdunsten, und zwar wird die Verdunstung um so stärker sein, je weiter die Luft vom Sättigungspunkte entfernt ist. Beim Uebergang des Wassers in Dampf oder Dunst findet aber eine Bindung von Wärme statt, in Folge deren das Thermometer a sinkt. Der Stand von a erniedrigt sich begreiflicher Weise um so mehr, je stärker die Verdunstung, oder je weniger die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt war. Sank z. B. das Thermometer um 5°, so enthält die Luft weniger Wasserdampf als wenn es nur um 3° sinkt.

Fig. 110.



Die Menge der verdunsteten Feuchtigkeit wird — so kann man ohne merklichen Fehler annehmen — der Anzahl Grade proportional sein, um welche der Stand des Thermometers sich erniedrigte. Ist d die Differenz zwischen den beiden Thermometern, so läßt sich die Menge der verdunsteten Feuchtigkeit durch cd ausdrücken, wobei c ein constanter, durch Versuche zu bestimmender Factor ist.

Die Dampfmenge W, welche die Luft zunächst der Mousselinhülle enthält, setzt sich demnach zusammen

aus der ursprünglich in der Luft vorhanden gewesenen Feuchtigkeit x,
aus der neuerdings gebildeten Quantität Wasserdampf cd.

Es ist sonach

$$W = x + cd, \quad x = W - cd.$$

c hat man durch Versuche = 0,65 gefunden.

Es sei z. B. die Temperatur des trockenen Thermometers (a) = 15°, die des nassen (b) = 10°, so ist d=5, W = 9,7 (siehe 4.), cd = 5.0,65=3,25, x=9,7 — 3,25=6,45 und relative Feuchtigkeit $= \frac{6,45}{13,0} = 0,49$.

Man hat Tabellen im Voraus berechnet, aus denen sich sogleich der Feuchtigkeitsgehalt der Luft für eine bestimmte Differenz der beiden Thermometer entnehmen läßt. Seite 260 enthält eine solche Tabelle.

Temperatur der Luft. Grade Cels.	Differenz der Temperaturen des trockenen und befeuchteten Thermometers.								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
— 20	1,5	0,8	0,1							
— 19	1,6	0,9	0,2							
— 18	1,8	1,0	0,3							
— 17	1,9	1,1	0,4							
— 16	2,0	1,2	0,5							
— 15	2,1	1,4	0,6							
— 14	2,3	1,5	0,8							
— 13	2,4	1,6	0,9	0,1						
— 12	2,6	1,8	1,0	0,3						
— 11	2,7	2,0	1,2	0,4						
— 10	2,9	2,1	1,3	0,6						
— 9	3,1	2,3	1,5	0,7						
— 8	3,3	2,5	1,7	0,9	0,1					
— 7	3,5	2,7	1,9	1,1	0,3					
— 6	3,7	2,9	2,1	1,3	0,5					
— 5	4,0	3,1	2,3	1,5	0,7					
— 4	4,2	3,4	2,5	1,7	0,9	0,1				
— 3	4,5	3,6	2,8	1,9	1,1	0,3				
— 2	4,8	3,9	3,0	2,2	1,4	0,5				
— 1	5,1	4,2	3,3	2,4	1,6	0,8				
0	5,4	4,5	3,6	2,7	1,9	1,0	0,2			
1	5,7	4,7	3,8	2,9	2,1	1,2	0,4			
2	6,1	5,1	4,1	3,2	2,3	1,4	0,5			
3	6,5	5,4	4,4	3,4	2,5	1,6	0,7			
4	6,9	5,8	4,8	3,7	2,7	1,8	1,0			
5	7,3	6,2	5,1	4,1	3,1	2,1	1,2	0,3		
6	7,7	6,6	5,5	4,5	3,4	2,4	1,4	0,5		
7	8,2	7,0	5,9	4,9	3,8	2,8	1,8	0,8		
8	8,7	7,5	6,4	5,3	4,2	3,6	2,1	1,1	0,2	
9	9,2	8,0	6,9	5,7	4,6	3,5	2,5	1,5	0,5	
10	9,7	8,5	7,3	6,2	5,1	4,0	2,9	1,9	0,9	
11	10,3	9,1	7,9	6,7	5,6	4,4	3,3	2,3	1,2	0,2
12	10,9	9,7	8,4	7,2	6,0	4,9	4,8	2,7	1,7	0,6
13	11,6	10,3	9,0	7,8	6,6	5,4	4,3	3,1	2,1	1,0
14	12,2	10,9	9,6	8,3	7,1	5,9	4,8	3,6	2,5	1,4
15	13,0	11,6	10,3	9,0	7,7	6,5	5,3	4,1	3,0	1,9
16	13,7	12,3	10,9	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,5	2,4
17	14,5	13,1	11,6	10,3	9,0	7,7	6,4	5,2	4,0	2,9
18	15,3	13,8	12,1	11,0	9,6	8,3	7,0	5,8	4,6	3,4
19	16,2	14,7	13,2	11,7	10,3	9,0	7,7	6,4	5,1	3,9
20	17,1	15,5	14,0	12,5	11,1	9,7	8,3	7,0	5,8	4,5
21	18,1	16,5	14,9	13,4	11,9	10,5	9,1	7,7	6,4	5,1
22	19,1	17,4	15,8	14,2	12,7	11,2	9,8	8,4	7,1	5,8
23	20,2	18,5	16,8	15,2	13,6	12,1	10,6	9,2	7,8	6,4
24	21,3	19,5	17,8	16,1	14,5	12,9	11,4	10,0	8,5	7,2
25	22,5	20,6	18,9	17,1	15,5	13,8	12,3	10,8	9,3	7,9
26	23,8	21,8	20,0	18,2	16,5	14,8	13,2	11,6	10,1	8,7
27	25,1	23,1	21,2	19,3	17,5	15,8	14,2	12,6	11,0	9,5
28	26,4	24,4	22,4	20,5	18,7	16,9	15,2	13,5	11,9	10,4
29	27,9	25,8	23,7	21,7	19,8	18,0	16,3	14,6	12,9	11,3
30	29,4	27,2	25,1	23,0	21,1	19,2	17,4	15,6	13,9	12,3
31	31,0	28,7	26,5	24,4	22,4	20,4	18,5	16,7	15,0	13,3
32	32,6	30,3	28,0	25,8	23,8	21,7	19,8	17,9	16,1	14,3
33	34,4	31,9	29,6	27,3	25,2	23,1	21,1	19,1	17,3	15,4
34	36,2	33,7	31,2	28,9	26,7	24,5	22,4	20,4	18,5	16,6
35	38,1	35,5	33,0	30,6	28,2	26,0	23,8	21,8	19,8	17,8

6. Gang der absoluten und relativen Luftfeuchtigkeit im Laufe des Tages.

a. Absolute Feuchtigkeit.

Hygrometrische Bestimmungen der absoluten Feuchtigkeitsmenge, welche die Luft im Laufe des Tages enthält, haben folgende Gesetze ergeben:

α. Im Winter findet das Minimum der absoluten Dampfmenge zur Zeit des Sonnenaufgangs, das Maximum zur Zeit der größten Tageswärme, also einige Stunden nach Mittag statt. — Dieses Verhältniß ist an und für sich einleuchtend, denn die Luft kann um so mehr Feuchtigkeit aufnehmen, je höher ihre Temperatur ist. Sinkt die Wärme gegen Abend hin, so muß sich ein Theil des Dampfes in der Luft niederschlagen und dies dauert die ganze Nacht hindurch bis zum Sonnenaufgang fort.

β. Im Sommer treten einige Anomalien ein, welche durch den einige Zeit nach Sonnenaufgang sich erhebenden warmen Luftstrom hervorgerufen werden. Das Minimum der absoluten Dampfmenge findet zwar auch bei Sonnenaufgang statt, allein die Feuchtigkeit der Luft nimmt jetzt nicht bis zur Zeit der höchsten Tageswärme, sondern nur bis 8 oder 9 Uhr zu. Nach dieser Zeit läßt zwar die Verdunstung, durch welche die Luft mit Wasserdampf geschwängert wird, nicht nach — sie steigert sich vielmehr mit zunehmender Sonnenhöhe — allein die größere Erwärmung auf der Erdoberfläche bewirkt, daß die Luft mit Lebhaftigkeit in die Höhe steigt und die Dünste mit sich reißt, wodurch sich die Feuchtigkeit an der Erdoberfläche, wo wir beobachten, vermindert. Es tritt deshalb um 8 oder 9 Uhr ein Feuchtigkeitsmaximum ein. Nach diesem Zeitpunkt fängt die Erdoberfläche wieder an, zu erkalten und die Luftfeuchtigkeit an derselben nimmt wieder zu, indem der aufsteigende Luftstrom nachläßt. Dies dauert bis gegen 9 Uhr Abends, zu welcher Zeit wieder ein Maximum der absoluten Feuchtigkeit eintritt. Während der Nacht vermindert sich die Verdunstung in Folge des Sinkens der Temperatur und des durch dasselbe hervorgerufenen Niederschlags von Wasserdämpfen; dies dauert bis Sonnenaufgang, wo, wie wir oben bemerkt haben, ein Feuchtigkeitsminimum eintritt.

Im Sommer finden also zwei Minima und Maxima der absoluten Feuchtigkeit statt; die beiden erstern stellen sich bei Sonnenaufgang und Nachmittags gegen 3—4 Uhr, die beiden letztern Vormittags um 8—9 und Abends gegen 9 Uhr ein.

b. Relative Feuchtigkeit.

Man versteht unter dieser das Verhältniß der in der Luft wirklich vorhandenen (absoluten) Feuchtigkeit zu der bei der herrschenden Temperatur

überhaupt aufnehmbaren. Je größer die relative Feuchtigkeit ist, um so weniger Wasserdampf braucht aufgenommen zu werden, damit der Sättigungspunkt eintritt.

Obgleich der absolute Feuchtigkeitsgehalt der Luft im Sommer größer, als in den übrigen Jahreszeiten ist, so herrscht doch im Sommer eine geringere relative Feuchtigkeit, als im Frühling, Herbst und Winter; in letzterm ist die Luft durchschnittlich am feuchtesten. Dieses Verhältniß erklärt sich ganz einfach, wenn man bedenkt, daß zwar in der wärmern Jahreszeit die Verdunstung stärker ist, als in der kältern, daß dagegen bei der höhern Temperatur der Sommermonate das Maximum der Feuchtigkeit steigt, welches die Luft enthalten müßte, wenn sie gesättigt sein sollte. Die Verdunstung nimmt also im Sommer nicht in gleichem Maße, wie die Temperatur zu, sondern bleibt hinter dieser zurück.

In Ansehung der Tageszeiten hat die Beobachtung zu folgenden Resultaten geführt. Die größte relative Feuchtigkeit tritt in allen Monaten bei Sonnenaufgang ein, die größte Trockenheit (geringste relative Feuchtigkeit) findet zur Zeit des täglichen Temperaturmaximums, also einige Stunden nach Mittag statt.

In der nachstehenden Tabelle (S. 263) theilen wir eine Uebersicht der absoluten und relativen Feuchtigkeit mit. Sie rührt von dem verdienstvollen Kämtz her und gilt für den Beobachtungsort Halle. Die Spannkraft des Dunstes (absolute Feuchtigkeit) ist in Millimetern (mm) ausgedrückt.

7. Gang der absoluten und relativen Luftfeuchtigkeit im Laufe des Jahres.

Hierüber sind unter 6, b schon einige Andeutungen gegeben worden. Die nebenstehende Tabelle zeigt uns, daß die absolute Feuchtigkeit im Januar am kleinsten ist, von da an bis zum Juli steigt und nachher wieder bis zum Januar fällt. Die relative Feuchtigkeit erreicht ihr Minimum im August, ihr Maximum im December. Im Winter ist also die Luft feuchter, als im Sommer.

8. Verschiedenheit der absoluten und relativen Feuchtigkeit nach Maßgabe der geographischen Länge und Breite.

Da die Wärme vom Aequator nach den Polen hin abnimmt, so muß auch der absolute Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre um so kleiner werden, je weiter man sich vom Aequator entfernt. Diesen Schluß bestätigen die Beobachtungen. Was dagegen die relative Feuchtigkeit anlangt, so läßt sich für diese keine so allgemeine Regel aufstellen. Sie hängt gar sehr von dem Umstande ab, ob ein Ort genug Wasser besitzt, um die Verdunstung auf die Dauer unterhalten zu können. In der Nähe des Meeres, der Seen und Flüsse, Moräste 2c. ist die Luft feuchter, als im Binnenlande. So zeichnet sich z. B. die

Stunde	Januar		Februar		März		April		Mai		Juni		Juli		August		September		October		November		Dezember	
	Absolute Feuchtigkeit	Relative Feuchtigkeit	Absolute Feuchtigkeit	Relative Feuchtigkeit	Absolute Feuchtigkeit	Relative Feuchtigkeit	Absolute Feuchtigkeit	Relative Feuchtigkeit	Absolute Feuchtigkeit	Relative Feuchtigkeit	Absolute Feuchtigkeit	Relative Feuchtigkeit	Absolute Feuchtigkeit	Relative Feuchtigkeit	Absolute Feuchtigkeit	Relative Feuchtigkeit	Absolute Feuchtigkeit	Relative Feuchtigkeit	Absolute Feuchtigkeit	Relative Feuchtigkeit	Absolute Feuchtigkeit	Relative Feuchtigkeit	Absolute Feuchtigkeit	Relative Feuchtigkeit
12 Mittg.	4,29	82,8	4,69	74,7	5,34	69,9	6,15	59,7	7,94	57,8	10,36	59,9	11,62	55,7	10,77	54,2	9,96	61,3	8,27	69,3	5,93	80,9	5,64	84,1
1	4,32	81,0	4,74	72,8	5,34	67,5	6,05	56,8	7,88	55,5	10,28	57,5	11,42	53,3	10.61	50,8	9,88	58,9	8,29	66,7	5,98	79,7	5.64	82,6
2	4,34	80.6	4,80	72,5	5,35	67,1	6,08	56,2	7,87	53 9	10,22	55.8	11,32	52,1	10,60	49,1	9,74	57,4	8,23	66,1	5,98	79,6	5,66	82,8
3	4,33	81,4	4,81	73,2	5,33	67,6	6,09	56.3	7,85	53,3	10,21	55,1	11,22	51,2	10,56	49,3	9,66	57,1	8,15	66,5	5,92	80,2	5,64	83,2
4	4,28	82,3	4,82	75,3	5,29	67,9	6,09	57,6	7,82	53,7	10,23	56,0	11,18	51,6	10.57	50,2	9.57	57,6	8,10	68,4	5,89	81,8	5,63	84.7
5	4,25	83,9	4,77	77.5	5,28	70,4	6,09	61,6	7,81	56.2	10,27	58,4	11,25	54,2	10,55	52,1	9,56	59,5	8,06	70,8	5,82	83,4	5,58	85,5
6	4,21	85,4	4,72	79,8	5,27	73,3	6,12	62.6	7,98	59,6	10,33	61,7	11,36	57,2	10.72	55,3	9,60	63,1	8,10	74,6	2,77	84,4	5,56	86,3
7	4,22	86,1	4,66	81,0	5,23	75,3	6,15	65,8	8,04	63,4	10,46	65,6	11,68	62,3	10,79	58,7	9,58	66,8	8,07	77,5	5,72	85,4	5,52	86,7
8	4,20	86.4	4,61	81,8	5,18	77,7	6,13	69,3	8,11	67,2	10,60	70.5	11,76	67,5	10,85	62,4	9,61	71,0	7,96	79,4	5,68	86,1	5,51	87,1
9	4,18	86,5	4,57	82,8	5,15	79,1	6,10	72,1	8,08	70,7	10,54	74,2	11,75	71,2	10,98	65,5	9,61	74,8	7,88	80,9	5,64	86,7	5,52	88,0
10	4,15	87,0	4,55	83,7	5,12	80,1	6,05	74,2	8,11	73,9	10,39	76,8	11,67	74,4	10.69	69,1	9,65	78,3	7,80	82,6	5.59	87,0	5,48	88,1
11	4,14	87,0	4,53	84,0	5,10	80,7	6,03	76,0	8,05	75,7	10,19	78,6	11,52	76,9	10,59	71,5	9,57	80,4	7,72	83,5	5,57	87,3	5,47	88,2
12 Mitternacht.	4,11	87,2	4,52	84,3	5,08	81,0	6,02	77,8	7,95	77,7	9,96	80,2	11,33	78,7	10,45	73.8	9,47	81,5	7,66	84,3	5,56	87,6	5.45	88,5
1	4,09	87,4	4,50	84,6	5,06	81,5	5,99	79,3	7,81	79,8	9,76	81,5	11,15	80,2	10,31	76,0	9,33	82,2	7,59	85,1	5,55	87,9	5,45	88,6
2	4,09	87,7	4,48	84,9	5,03	82,4	5,93	81,0	7,69	82,0	9,65	82,9	11,05	81.8	10.22	78,3	9,16	83,0	7,52	85,8	5,54	88,2	2,44	88,6
3	4,08	88,0	4,45	85,3	4,99	83,5	5,88	82,7	7,61	83,7	9,65	84,3	11,07	83,0	10,22	80,5	9,03	84,1	7,43	86,7	5,53	88,5	5,44	88,6
4	4,08	88,3	4,40	85,7	4,96	84,7	5,84	84,2	7i61	84,6	9,81	85,2	11,21	84.0	10,33	82,2	8,99	85,3	7,36	87,4	5,52	88,8	5,42	88,6
5	4,07	88.6	4,36	86,0	4,94	85,6	5,87	85,0	7,70	84,2	9,99	84,9	11,44	83,3	10,55	82,8	9,05	86,1	7,34	87,9	5,51	89,1	5,40	88,7
6	4,06	88,8	4 33	86,3	4,94	85,5	5,96	84,6	7,83	82,3	10.16	82,9	11,68	82,6	10,79	81,9	9,21	85,3	7,44	87,8	5,50	89,4	5,40	88,8
7	4,06	88,9	4.33	86,2	4,98	84,7	6.08	82,1	7,78	78,8	10,45	79,9	11,96	79,0	11,07	78,7	9,44	83,8	7,49	86,7	5,52	89,1	5,38	88,7
8	4,05	88,3	4,34	84.3	5,06	82,9	6,25	78,8	8,17	73,8	10,43	74,2	12,11	74,0	11,33	74,1	9,76	80.3	7,75	84,8	5,56	88,1	5,35	88.4
9	4,07	86,9	4,41	82,2	5,15	76,6	6,34	73,3	8,19	66,8	10,48	69,9	12.05	68,2	11,33	68,6	10,00	74,9	8,06	81,6	5.65	87,9	5,37	87,7
10	4,12	85,4	4,50	79,2	5,24	75,9	6.35	68,9	8,11	64,7	10,41	65,3	11,89	63,1	11,15	62,9	10,04	69.1	8,23	77,2	5,77	84,5	5,48	86,5
11	4,21	83,9	4,62	76,8	5,29	72,1	6,28	64,3	8,06	61,2	10,32	81,8	11,72	58,9	10,07	57,8	9,97	64,5	8,28	72.8	5,86	82,4	5,58	85,1
Mittel	4,17	85,8	4,56	81,0	5,15	77,3	6,08	71,3	7,93	69,2	10,21	71,0	11,52	68,5	10,70	66,1	9,56	72,8	7,87	78,9	5,69	85,6	5,50	86,8

Luft in der Russischen Ebene durch große Trockenheit aus, während England das ganze Jahr hindurch einer sehr feuchten Luft genießt. Ein ähnliches Verhältniß nehmen wir zwischen der Wüste Sahara und den Westindischen Inseln wahr.

9. Verschiedenheit der absoluten und relativen Feuchtigkeit nach der Erhebung über die Meeresfläche.

Der absolute Feuchtigkeitsgehalt der Luft nimmt mit der Höhe ab, wie die Beobachtungen der Meteorologen nachweisen; die relative Feuchtigkeit dagegen zeigt sich bei hellem Wetter geringer, bei trübem Wetter größer, als in der Tiefe. Im Durchschnitt längerer Zeiträume, z. B. mehrerer Monate stellt sich ein größerer relativer Feuchtigkeitsgehalt mit der Erhebung über die Meeresfläche heraus.

10. Feuchtigkeit bei verschiedenen Winden.

Es ist eine allgemein bekannte Erfahrung, daß der Feuchtigkeitsgehalt der Luft mit dem Winde wechselt. Wir haben auch hier wieder zwischen absoluter und relativer Feuchtigkeit zu unterscheiden. Erstere wird um so größer sein, wenn der Wind mit einer hohen Temperatur über wasserreiche Gegenden hinzieht, weil er in diesem Falle viel Dampf aufnehmen kann. Die relative Feuchtigkeit dagegen vermindert sich in dem Maße, als der Wind höher temperirt ist nnd wenn derselbe über wasserarme Localitäten streicht.

In Deutschland sind im Sommer Nordwest, Südwest und West die (relativ) feuchtesten, Nord, Nordost, Südost und besonders Ost die trockensten Winde. Diese, durch die Beobachtung festgestellte Thatsache erklärt sich sehr einfach aus Demjenigen, was früher über die Isotheren und über die Temperatur der Winde bemerkt wurde. Im Sommer ist nämlich das Innere des Europäischen und Asiatischen Continentes wärmer, als das Meer; die Feuchtigkeit, welche der Ostwind aus Asien mitbringt, setzt er an dem hohen Uralgebirge ab, ohne sie auf seinem fernern Laufe wieder zu erhalten, da die Russische Ebene arm an großen Wasserflächen ist. Der Südwest dagegen streicht über das Mittelländische Meer, wo er eine hinreichende Menge Feuchtigkeit aufnimmt. Diese tritt relativ um so stärker hervor, als der Südwest im Sommer beinahe um 2 Grade kühler, als der Ostwind ist. Noch feuchter ist der vom Atlantischen Meer kommende Westwind.

Im Winter finden wir entgegengesetzte Verhältnisse. Zu dieser Jahreszeit ist nämlich der Ostwind feuchter, als der Westwind. Es erklärt sich dieses aus der niederern Temperatur der östlichen, gegenüber den westlichen Winden, wodurch der Thaupunkt jener herabgestimmt wird.

Im Frühjahr und Herbst sind Nord, Nordwest, Nordost und West die feuchtesten, Süd, Südwest und von Allem Ost die trockensten Winde.

Die nachstehende, auf vierjährigen Beobachtungen beruhende Zusammenstellung von Kämtz gibt die relative Feuchtigkeit der acht Hauptwinde in den verschiedenen Jahreszeiten an. Der Beobachtungsort ist Halle.

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
Nord	89,5	75,0	67,6	78,7
Nordost	91,2	72,3	67,4	82,6
Ost	92,6	66,9	61,3	75,7
Südost	85,5	71,4	66,3	79,2
Süd	83,0	70,3	67,4	76,2
Südwest	81,9	70,3	69,9	78,6
West	80,9	71,7	71,4	80,6
Nordwest	83,2	73,4	68,8	82,7

Zweiter Abschnitt.

Von den wässerigen Niederschlägen.

1. Ursachen der atmosphärischen Niederschläge.

Wie wir im ersten Abschnitt gesehen haben, ist die Menge Wasserdampf oder Dunst, welche in einem gewissen Raume und bei einer gewissen Temperatur sich bilden kann, eine genau begrenzte. Für jede Temperatur gibt es ein Feuchtigkeitsmaximum; ist dieses erreicht und sinkt die Temperatur nachträglich, so muß ein Theil des Dampfes in den tropfbar flüssigen oder festen Zustand übergehen.

So enthält z. B. ein Kubikmeter Luft bei 20° Wärme im Maximum 17,1 Gramme Wasserdunst, bei 10° dagegen nur 9,7 Gramme. Wird die bei 20° gesättigte Luft auf 10° erkältet, so müssen sich demnach 17,1—9,7 = 7,4 Gramme niederschlagen. War aber die Luft bei 20° nicht gesättigt, enthielt sie z. B. nur 15,0 Gr. Feuchtigkeit, so schlagen sich, wenn die Temperatur auf 10° sinkt, nur 15,0 — 9,7 = 5,3 Gramme nieder. Enthielt endlich die Luft bei 20° Temperatur 9,7 Gramme Dunst, so wird in dem angenommenen Falle gar kein Niederschlag erfolgen, denn bei 10° Temperatur können sich gerade noch 9,7 Gr. Feuchtigkeit in der Luft aufhalten.

Ein Niederschlag des Wasserdampfs wird also um so eher eintreten

a) je mehr der in der Luft befindliche Wasserdunst dem bei der betr. Temperatur möglichen Maximum gleichkommt,

b) je größer die Temperaturerniedrigung ist.

Wenn die Luft an irgend einem Orte mit Wasserdampf gesättigt ist, so entsteht so lange kein Niederschlag, als ihre Temperatur sich nicht ändert. Werden dagegen zwei Luftmassen von verschiedener Temperatur mit einander vermengt, so setzt sich augenblicklich ein Theil des Dampfes ab. Denn die bei-

den Luftmassen gleichen ihre Wärme gegen einander aus; während die Temperatur der einen steigt, nimmt sie Feuchtigkeit auf, welche sie von der andern, deren Temperatur fällt, empfängt. Da aber die Dampfmenge, welche sich in einem gegebenen Volumen Luft im Maximum aufhalten kann, in stärkerem Maße, als die Temperatur zunimmt, so muß die wärmere Luftmasse bei der Ausgleichung auf die Mitteltemperatur viel mehr Feuchtigkeit abgeben, als die ursprünglich kältere Luft bedarf, um bei der Ausgleichungstemperatur von Neuem mit Dampf gesättigt zu sein. Es seien z. B. die Temperaturen der beiden Luftmassen 20° und 10°; nach erfolgter Mengung haben sie die gemeinschaftliche Temperatur von 15°. Die Luft von 15° nimmt hierbei eine Dampfmenge von 13,0—9,7 = 3,3 Gr. pro K. Meter auf, die Luft von 20° gibt 17,1—13,0 = 4,1 Gr. p. K. M. ab, also werden 4,1—3,3 = 0,8 Gr. Wasserdampf p. K. M. ausgeschieden.

2. Nebel.

Wenn aus irgend einer der vorhin angegebenen Ursachen die Luft sich eines Theiles ihres Wasserdampfs entledigen muß, und wenn die Temperaturerniedrigung, welche hierbei stets eintritt, nicht bedeutend ist, so verdichtet sich der Wasserdampf in Gestalt kleiner Bläschen, welche innen mit Luft gefüllt sind. Schweben viele solche Bläschen nahe neben einander in der Luft herum, so nennt man das Ganze Nebel.

Die Nebelbläschen lassen sich leicht in dem aus heißen Flüssigkeiten aufsteigenden „Schwaden" mittelst der Lupe unterscheiden. Aus der Art, wie das Licht von ihnen reflectirt wird, gelang es, ihren Durchmesser zu bestimmen, den Kämtz durchschnittlich = 0,00082658 Zollen fand. Doch sollen die Nebelbläschen im Winter größer, als im Sommer sein. Die Dicke der Hülle beträgt nach Kratzenstein 0,000025 Zolle.

Der Nebel erzeugt sich besonders häufig über stehenden und fließenden Gewässern, Sümpfen und überhaupt über nassem oder feuchtem Boden und gegen Abend. Um diese Zeit hat die Luft schon viel Wärme durch Ausstrahlung verloren, während die Temperatur des Wassers nahezu dieselbe geblieben ist. Es bildet sich aus dem wärmern Wasser Dampf, welcher in den kältern Luftschichten unmittelbar über dem Wasser zu Nebel verdichtet wird. Ist die Luft gegen die Ausstrahlung ihrer Wärme geschützt, wie es z. B. in Waldungen der Fall ist, so bildet sich oft selbst auf feuchtem Boden kein Nebel.

Blößen oder jüngere Bestände in Tieflagen, welche von höherem Anwuchse umgeben sind, neigen vorzüglich zur Nebelbildung hin. Der Schutzbestand hemmt die Luftbewegung, durch welche die kältere Luft an solchen Localitäten von wärmerer ersetzt werden könnte. Die dem Windzug exponirten Berge sind deßhalb auch viel weniger von Nebeln heimgesucht, als die Niederungen.

Länder in der Nähe der See leiden in der kältern Jahreszeit mehr von

Nebelwetter, als Orte im Binnenlande. Das Meerwasser hält die im Sommer erlangte Temperatur länger an, es ist deßhalb auch im Herbst und Winter wärmer, als das Land. Die Dämpfe welche sich aus dem Meerwasser erzeugen, verdichten sich, sobald sie das Land erreicht haben. Daher rühren die dichten Nebel, in welche England einen großen Theil des Jahres hindurch gehüllt ist. So verdanken die Nebel von Neufoundland dem warmen Wasser des Golfstromes ihre Entstehung.

3. Wolken.

a) Entstehung der Wolken. Die Wolken sind nichts Anderes, als Nebel, der sich in einiger Höhe über der Ebene befindet. Hiervon kann man sich am besten überzeugen, wenn man ein Gebirge bei trübem Wetter besteigt. Man sieht sich dann oft in die Mitte einer Nebelmasse versetzt, die von den Bewohnern der Ebene als Wolke gesehen wird.

Die Wolken entstehen aus der Feuchtigkeit, welche sich aus dem Boden, aus den Gewässern, den Gewächsen u. s. w. als Dampf entwickelt. Auch der Verbrennungs- und Athmungsprozeß, die Ausdunstung der Menschen und Thiere bilden eine Quelle für die Erzeugung von Wasserdampf. Dieser, mag er nun von der einen oder der andern Ursache herrühren, steigt wegen seines geringeren specifischen Gewichtes in der Luft aufwärts, bis er in Regionen gelangt, deren niedrige Temperatur ihn zur Verdichtung zwingt.

b) Schweben der Wolken. Da die Nebelbläschen gegen zweihundertmal schwerer sind, als die Luft, so müssen sie sogleich nach ihrer Entstehung nach der Erdoberfläche hin fallen. Dies geschieht auch unter allen Umständen, wenn schon der Widerstand der Luft, der bekanntlich in quadratischem Verhältniß mit der Fallgeschwindigkeit wächst, die Stärke der letztern mäßigt. Warum erhalten sich aber, kann man fragen, die Wolken in der Schwebe? Dies beruht auf der höhern Temperatur der untern Luftschichten. Sobald das Nebelbläschen in eine solche angelangt ist, wird es, vorausgesetzt, daß die Luft nicht schon mit Feuchtigkeit gesättigt ist (in welchem Fall, wie wir später sehen werden, Regen eintritt), wieder in Dampf verwandelt, der abermals seinen Weg in die Höhe nimmt, bis er von Neuem zu Nebel verdichtet wird. Auch der von der Erdoberfläche aufsteigende warme Luftstrom trägt dazu bei, die Wolken schwebend zu erhalten. Er ertheilt den Nebelbläschen eine Geschwindigkeit in einem der Fallrichtung entgegengesetzten Sinne.

Wahrscheinlich bestehen die Wolken, welche am weitesten von der Erdoberfläche entfernt sind (Cirri s. u.) aus Schnee und Eis. Daß diese festen Körper sich in der Luft suspendirt erhalten können, beruht auf den nämlichen Ursachen, welche das Schweben der Nebelwolken bewirken.

c) Wolkengestalten. Die Wolken erscheinen bekanntlich in den verschiedenartigsten Formen, doch stehen diese in sehr genauem Zusammenhang mit der Witterung, so daß die Kenntniß wenigstens der hauptsächlichsten Wol-

kengestalten für die Meteorologie von Wichtigkeit ist. Die nachstehende Classification verdanken wir Howard.

Fig. 111.



α. Die Federwolke — Cirrus. — Sie besteht aus zarten weißen Streifen, die entweder einander parallel laufen oder etwas gebogen sind und an den Enden gewöhnlich divergiren, so daß diese das Ansehen von gekräuselten Locken gewinnen. Die Federwolke ist gewöhnlich am weitesten von der Erdoberfläche entfernt, nach den Messungen von Dalton und Kämtz steht sie oft in 20000 Fuß Höhe, wo, wie wir wissen, die Temperatur unter den Gefrierpunkt gesunken ist. Deßwegen müssen wir auch annehmen, daß der Cirrus aus Schnee oder Eis besteht, und dieser Schluß wird durch die optischen Phänomene, welche derselbe erblicken läßt, bestätigt. Der Cirrus rückt gewöhnlich nur langsam vom Platze, was ebenfalls auf seine weite Entfernung von der Erdoberfläche schließen läßt; denn wenn zwei Gegenstände von gleicher Geschwindigkeit in ungleicher Entfernung an uns vorüber passiren, so scheint der uns zunächst befindliche eine größere Geschwindigkeit, als der andere, zu haben, weil bei jenem der Gesichtswinkel zwischen zwei Stationen sich in der nämlichen Zeit um einen größern Betrag ändert und wir die Geschwindigkeiten von Objecten, deren Entfernung uns unbekannt ist, nach der Aenderung dieses Gesichtswinkels schätzen.

Erscheint die Federwolke nach andern dichtern Wolken, so zeigt sie den Eintritt von gutem Wetter an; tritt sie aber nach anhaltend heiterm Himmel auf, so hat sie gewöhnlich eine Veränderung der Witterung im Gefolge.

Fig. 112.



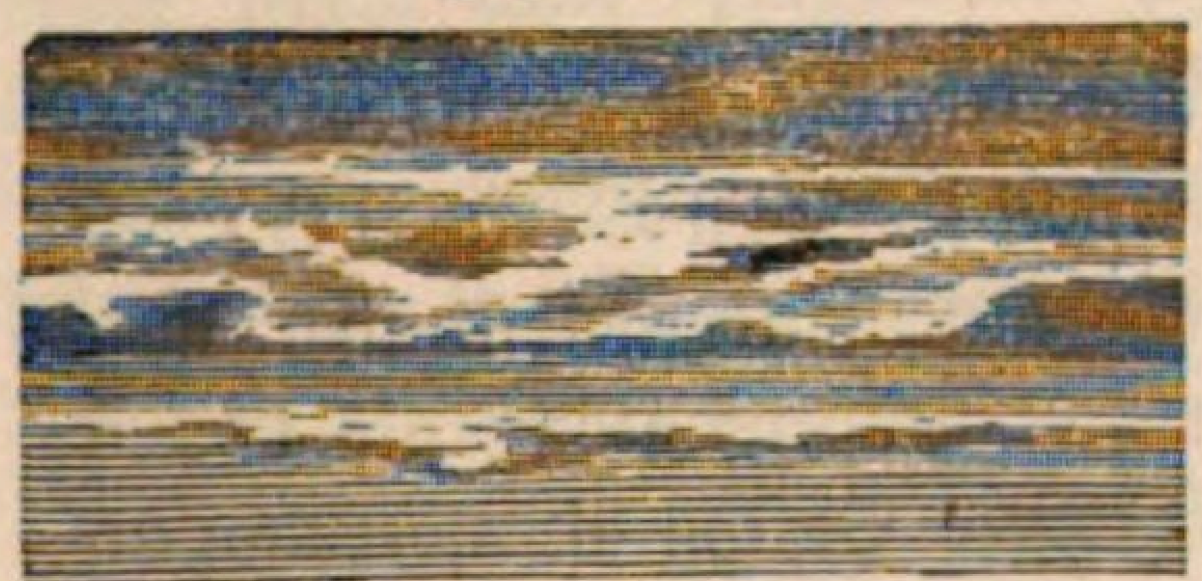
β. Die Haufenwolke — Cumulus. — Ihre Gestalt ist kugel-, öfter noch halbkugelförmig mit einer der Horizontalen parallelen Grundfläche. Die Haufenwolke hat einen dunkeln, oft ganz schwarzen Kern, aber helle, oft durch die Sonnenstrahlen vergoldete Ränder. Häufen sich mehrere solcher Wolken am Horizont zusammen, so glaubt man oft beim ersten Anblick ein fernes Gebirge zu sehen.

Im Sommer tritt die Form des Cumulus am häufigsten auf; die Haufenwolke entsteht zu dieser Jahreszeit vorzüglich durch den aufsteigenden warmen Luftstrom, der die Dünste rasch mit sich in die Höhe nimmt, bis sie sich in den kältern Regionen des Luftkreises verdichten. Deßwegen erzeugt sich diese Wolkenart meist des Morgens, bleibt den Tag über am Himmel stehen, indem sie fortwährend wächst und sinkt gegen Abend, wenn der aufsteigende Luftstrom nachläßt, herunter, wobei sie sich in den wärmern Luftschichten auf-

löst und verschwindet. Geschieht dieses nicht, so häufen sich die Cumuli zu Regenwolken an und es tritt trübes Wetter ein.

Die Haufenwolke steigt bis zu Höhen von 4000 bis 9000 Fußen; oft steht sie aber viel tiefer, namentlich des Abends, wo sie bis zu 3000 Fußen herabsinkt. Deßwegen scheint ihre Geschwindigkeit mitunter sehr bedeutend zu sein.

Fig. 113.



γ. Die Schichtenwolke — Stratus. Sie hat mit der Federwolke einige Aehnlichkeit, unterscheidet sich aber von dieser durch ihre größere Dichte und durch dunklere Farbe. Dabei besitzt sie eine größere Längenausdehnung, so daß sie sich wie ein langer Streifen ausnimmt, der mit der Horizontalen parallel verläuft. Oft verdeckt sie den Horizont ganz, besonders in feuchten Thälern und Niederungen, und läßt den obern Theil des Himmels frei. Die Schichtenwolke erhebt sich nicht so hoch, wie die Feder- und Haufenwolke. Sie entsteht gewöhnlich des Abends und die Nacht hindurch, auch bei Tage nach Gewittern.

Fig. 114.



δ. Die Regenwolke — Nimbus. Sie besitzt eine eintönige, graue oder blaugraue, nach unten hin dunklere Färbung und verwaschenen, undeutlichen Saum, sowie eine unregelmäßige, doch massenhafte Figur. Sie schwebt in geringer Höhe über der Erdoberfläche.

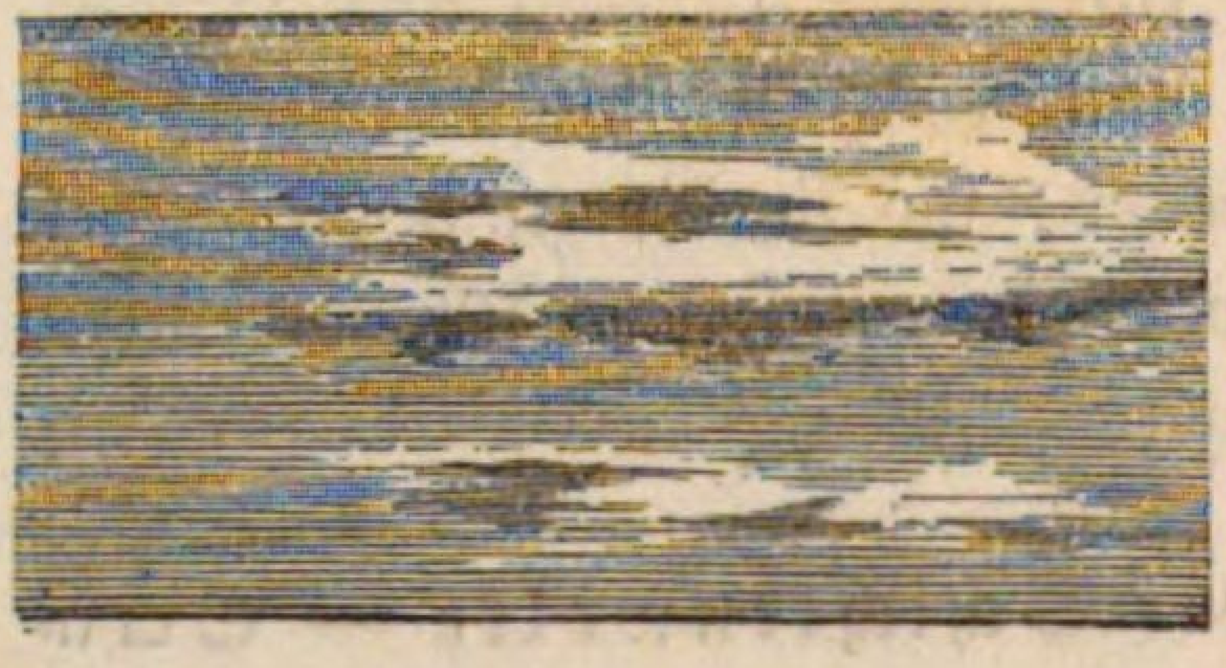
Die bisher aufgeführten Wolkengestalten sind nicht immer so scharf ausgeprägt, als wir sie eben geschildert haben, sehr oft geht eine Form in die andere über. Die bemerkenswerthesten Zwischenstufen sind:

Fig. 115.



ε. Die federige Haufenwolke — Cirro-Cumulus. — Sie besteht aus kleinen abgerundeten Wölkchen, welche in größerer Anzahl neben einander gelagert sind. Man kann sich vorstellen, sie sei aus der Federwolke durch Zusammenballen der Fasern entstanden. In der Volkssprache nennt man diese Wolken „Schäfchen.“ Man sieht sie als eine Vorbedeutung für das längere Anhalten von heiterm Wetter an.

Fig. 116.



ζ. Die federige Schichtenwolke Cirro=Stratus (Fig. 116). Sie bildet einen horizontalen Streifen, der aber nicht, wie der Stratus, dicht ist, sondern aus lauter kleinen schmalen unter sich paralle= len Wolkenstückchen besteht.

Fig. 117.



η. Die geschichtete Haufenwolke — Cumulo=Stratus. (Fig. 117). Sie besteht aus aufeinandergethürmten Wol= kenmassen von größerer Höhe, als Grund= fläche, die obere Parthie ist überhängend. Man kann sie sich aus der Vereinigung mehrerer Haufenwolken, über welche Cirro= Strati gelagert sind, entstanden denken. Die geschichtete Haufenwolke zeigt gewöhnlich Regen an, der aber oft erst nach einigen Tagen erfolgt.

4. Regen.

Wir haben unter 3, b gesehen, daß die Wolken sich nur dann schwe= bend erhalten, wenn die unter ihnen befindliche Luftschichte nicht mit Wasser= dampf gesättigt ist. Im anderen Falle sinken die Wolken allmählig zum Bo= den herunter, dabei vereinigen sich mehrere Nebelbläschen zu einem Tropfen Wassers, indem ihre Wandungen in einander verfließen. So entsteht der Regen.

Oft bemerkt man aber auch Regen, ohne daß Wolken am Himmel ste= hen. Dieser Fall tritt dann ein, wenn eine warme gesättigte Luftschichte mit einer viel kältern plötzlich vermengt wird. Der Niederschlag erfolgt dann mo= mentan, die Nebelbläschen fließen sogleich nach ihrem Entstehen in Tropfen zusammen. Der Regen ohne Wolken tritt am häufigsten im Frühjahr auf, wenn der kalte Polarstrom mit dem viel wärmeren Aequatorialstrom kämpft.

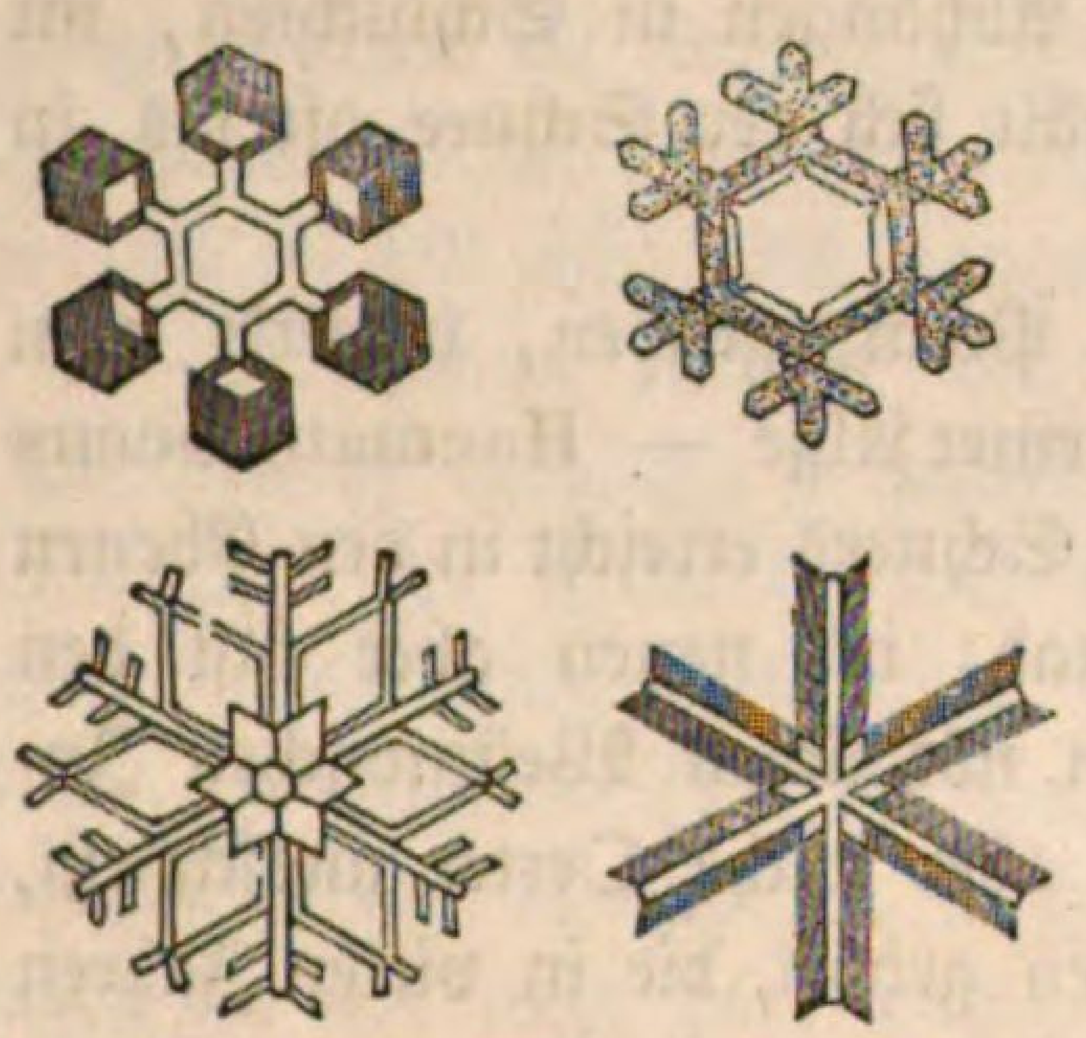
Am kleinsten sind die Regentropfen in dem sogenannten Staubregen, größer schon in dem mehrere Tage andauernden Landregen, am größten in dem Platzregen.

5. Schnee.

Die Wolken, welche in Regionen schweben, wo die Temperatur unter dem Gefrierpunkt steht, enthalten keine Nebelbläschen, sondern Schnee und selbst Eis. Schnee bildet sich, wenn der in der Luft befindliche Wasserdampf gefriert. Wie wir früher gesehen haben, enthält die Luft selbst bei Tempera=

turen, welche unter dem Gefrierpunct liegen, Wasserdampf. Es wird deßhalb, wenn die Temperatur so weit sinkt, daß Schnee entsteht, nicht mehr Dampf in fester Form sich abscheiden, als der Ueberschuß über das Feuchtigkeitsmaximum beträgt, welches sich bei der herrschenden Temperatur in der Luft aufhalten kann. Durch einen Schneefall verliert also die Luft keineswegs ihre sämmtliche Feuchtigkeit. — Die Schneeflocken fallen bei warmer Witterung größer aus, als bei kalter, sie bestehen aus kleinen nadelförmigen Krystallen, deren Form dem hexagonalen System angehört. Gewöhnlich stoßen sechs solche Kryställchen wie die Radien eines regelmäßigen Sechsecks in einem Punkte zusammen, oft sind aber auch diese Radien seitwärts wieder mit Nadeln besetzt, so daß die mannigfaltigsten Gestalten entstehen. Fig. 118 enthält einige derselben nach einer von Scoresby entworfenen Zeichnung.

Fig. 118.



Da die Menge Feuchtigkeit, welche die Luft aufzunehmen vermag, mit der Temperatur wächst, so muß auch die Menge Schnee, welche in der Zeiteinheit, z. B. in einer Viertelstunde, fällt, größer bei warmer, als bei kalter Witterung sein, und in der That bestätigt die Beobachtung diesen Schluß.

Gleiche Gewichtsmengen Schnee liefern beim Schmelzen gleiche Quantitäten Wasser; bildet man aber von dem Schnee, so wie er gefallen ist, gleiche Volumina, so erhält man beim Thauen desselben von dem großflockigen mehr Wasser als von dem feinen nadelförmigen, weil ersterer sich dichter zusammenballt. Schübler brauchte bei 10 Versuchen im Minimum 10,1; im Maximum 22,3, im Mittel 14,1 Raumtheile Schnee, um 1 Raumtheil Wasser zu erzeugen. Eine 14 Zoll hohe Schneelage wird also beim Schmelzen im Mittel eine Wasserschichte von 1 Zoll Höhe geben.

Die Menge des fallenden Schnees nimmt mit der Erhebung über die Meeresfläche zu; es fällt demnach mehr Schnee im Gebirge, als in der Ebene, Gar häufig schneit es in den höheren Regionen des Luftkreises, während es in den Tieflagen regnet; die Schneeflocken schmelzen dann, ehe sie an die Erdoberfläche gelangen. In den Alpen kommt unter 2000 Fuß ein Schneefall im Sommer nie vor, während bei 4000 bis 5000 Fußen Meereshöhe bereits kein Monat mehr schneefrei ist. Die Küstenländer Europa's, welche den feuchtwarmen Südwestwinden ausgesetzt sind, haben bei gleicher Meereshöhe und gleicher Breite mehr Schneefall, als das Innere unseres Continentes. Deßwegen fällt in dem milderen Norwegen im Winter mehr Schnee, als in dem rauheren Schweden.

In Frankfurt a. M. beträgt die Regenmenge des Winters durchschnitt-

lich 5,5 Par. Zolle. Nehmen wir an, dieses sämmtliche Wasser sei aus Schnee entstanden und dieser den ganzen Winter hindurch liegen geblieben, so würde er eine Schichte von 5,5.14,1 Zollen = 6,42 Fußen gebildet haben. Doch häuft sich in der Gegend von Frankfurt der Schnee selten höher, als 1½ Fuße an, ausgenommen die Stellen, wo er durch den Wind zusammengeweht wird. Wenn einmal zu Gebostad in Norwegen der Schnee 20′ hoch lag, so ist dies, nach v. Buch, nur ein extremer Fall; an den Küsten von Bergen hat man nie mehr als 4 Fuß hoch Schnee gesehen. — Nach Wessely soll aber die Schneelage in den Oesterr. Alpen bei 5000—6000 Fuß Meereshöhe 5—7 Fuß Höhe erreichen.

Im Gebirge fällt beim Eintritt der kältern Jahreszeit der Schnee früher und bleibt länger liegen, als in der Ebene. An Orten, welche gegen die Sonne geschützt sind, wie z. B. an nördlichen Abhängen in Schluchten, im Innern von Fichten- und Tannenbeständen, hält sich der Schnee oft bis in den Sommer hinein.

In den Alpen, vorzüglich aber in den Polargegenden, bemerkt man öfters rothen Schnee. Diese Färbung rührt von einer Alge — Haematococcus nivalis, her. „Die absolute Aequatoralgrenze des Schnees erreicht in den Ebenen des alten Continents schwerlich den 30ten Grad; im neuen aber fast den Wendekreis des Krebses, denn man hat auf den nördlichen Westindischen Inseln Beispiele von Schnee gehabt; wenn man aber solche Oerter ausschließt, wo der Schnee zu den höchst seltenen Phänomen gehört, die in vielen Jahren gar nicht eintreffen, so darf man die Aequatorialgrenze in Europa auf 40°, in Amerika auf 30° bestimmen". Schouw, Pflanzengeographie, 386.

6. Hagel.

Vom Hagel unterscheidet man zwei Modificationen, nämlich

a) Die Graupeln, rundliche, bis zwei Linien große, Körperchen von zusammengesickertem Schnee. Sie fallen vorzüglich im Frühling, auch wohl im Herbst und Winter.

b) Den eigentlichen Hagel. Er stimmt darin mit den Graupeln überein, daß sein Kern fast immer aus zusammengeballtem Schnee besteht, unterscheidet sich aber von ihnen durch die äußere Schale, welche stets Eis ist. Oft wechseln auch concentrische Eis- und Schneeschichten.

Die Größe der Hagelkörner ist sehr unterschiedlich. Gewöhnlich beträgt sie zwei Linien, aber es ist schon Hagel von mehreren Zollen Durchmesser gefallen. Bei dem Hagelwetter, welches 1822 die Umgegend von Bonn verheerte, hatten die Körner, nach Nöggeraths Messung, einen Durchmesser von 1—1½ Zollen und wogen bis 13 Loth. Die Temperatur der Hagelkörner beträgt nach Pouillet — 0°,5 bis — 4°.

Die Hagelwolken lassen sich leicht von den andern Wolken durch die graue Farbe nnd die zerrissenen Ränder unterscheiden. Sie schweben in

geringer Höhe über den Boden und lassen oft, auch schon ehe der Hagel fällt, ein eigenthümliches klapperndes Geräusch hören. Meist folgen Gewitter auf den Hagel.

Innerhalb der gemäßigten Zone hat man die Erscheinung des Hagels in jeder Meereshöhe beobachtet, doch sind die Hagelkörner in der Ebene gewöhnlich größer, als im Gebirge, was wahrscheinlich daher rührt, weil sich während des Fallens Wasserdämpfe an ihrer Oberfläche condensiren. In der heißen Zone tritt der Hagel in meeresgleicher Lage außerordentlich selten auf, öfter zeigt er sich im Gebirge.

Die gewöhnlichen Hagelwetter dehnen sich nicht über größere Strecken Landes aus; sie beschreiben einen Streifen, der viel länger, als breit ist. Hagelwetter, wie das von 1788, welches Frankreich in einer Länge von 100 geogr. Meilen bei einer Breite von 1 bis $1^1/_2$ Meilen durchzog, gehören zu den Seltenheiten. Manche Orte sind dem Hagelschlag vorzugsweise ausgesetzt, so daß sie fast alljährlich davon betroffen werden.

Der Hagel entsteht viel häufiger bei Tage als bei Nacht. Was die Jahreszeiten anlangt, so weisen die Beobachtungen nach, daß es in Deutschland öfter im Frühling und Sommer, als im Winter und Herbst hagelt. Dieses Verhältniß bleibt aber für die übrigen Europäischen Länder nicht dasselbe; in England fällt der Hagel zumeist im Winter, doch besteht er daselbst vorzüglich aus Graupeln; auch in Deutschland kommt der eigentliche Hagel mehr im Sommer vor, während im Frühjahr mehr Graupeln fallen.

Entstehung des Hagels. Die ältern Physiker hielten den Hagel für gefrorne Regentropfen und meinten, er bilde sich in dem Falle, wenn es über einer unter den Gefrierpunkt erkalteten Luftschichte regne. Dieser Ansicht steht in so ferne nichts entgegen, als es in der That zuweilen vorkommt, daß die Luft in der Höhe wärmer ist, als in der Tiefe; besonders geschieht dies leicht im Frühjahr, wenn der Polarluftstrom mit dem Aequatorialstrom kämpft; durch die Winde werden dann beide mit einander vermengt. Unrichtig ist es aber, den Hagel für gefrornen Regen zu halten, da doch der Kern jedes Hagelkornes, wie wir vorhin gesehen haben, aus Schnee besteht.

Es macht wenig Schwierigkeit, zu erklären, wie der Schneekern sich bilde. Wir wissen ja, daß in den höhern Regionen des Luftkreises die Wolken nicht mehr aus Nebel, sondern aus Schnee oder Eis bestehen. Es brauchen daher nur die Schneeflocken, etwa unter dem Einfluß einer höhern Temperatur oder des Windes, sich zusammenzuballen, und die Schneekerne sind fertig. Nicht so leicht ist aber die Beantwortung der Frage, woher die mitunter so bedeutende Eismasse komme, welche den Schneekern umgibt. Volta hat darüber eine sehr sinnreiche Theorie aufgestellt. Er nimmt zwei Wolkenschichten an, von denen die kältere, Schnee enthaltende, sich in einer gewissen Distanz über der wärmeren, aus Nebelbläschen bestehenden, befinde. Diese beiden Wolken sollen mit entgegengesetzten Electricitäten geladen sein. Fällt

nun, so sagt Volta, eine Schneeflocke aus der obern Wolke zur untern hernieder, so setzt sich die Feuchtigkeit der letztern an der kältern Schneeflocke ab und gefriert gleichzeitig; das Kügelchen, welches sich gebildet hat, besitzt jetzt die Electricität der untern Wolke und wird deshalb von dieser abgestoßen und der obern Wolke wieder genähert; hier angekommen, sinkt seine Temperatur, so daß es, nachdem es die Electricität dieser Wolke angenommen hat und wieder zur untern Wolke zurückgekehrt ist, eine neue Quantität Feuchtigkeit in Eis verwandeln kann. Der Prozeß soll so lange dauern, bis das Hagelkorn durch die electrische Anziehung und Abstoßung nicht mehr schwebend erhalten werden kann und wegen seiner vermehrten Schwere zu Boden sinkt.

Man sieht auf den ersten Blick die Schwäche dieser Theorie ein. Wenn nämlich die Electricität der beiden Wolken so bedeutend ist, daß durch sie die Hagelkörner unaufhörlich in Bewegung gehalten werden können, so müßte nothwendig eine Ausgleichung der beiden Electricitäten erfolgen, wie wir dies z. B. bei den Gewittern beobachten.

Die Meteorologie hat bis jetzt noch keine haltbare Erklärung für die Entstehung des Hagels gegeben.

7. Thau und Reif.

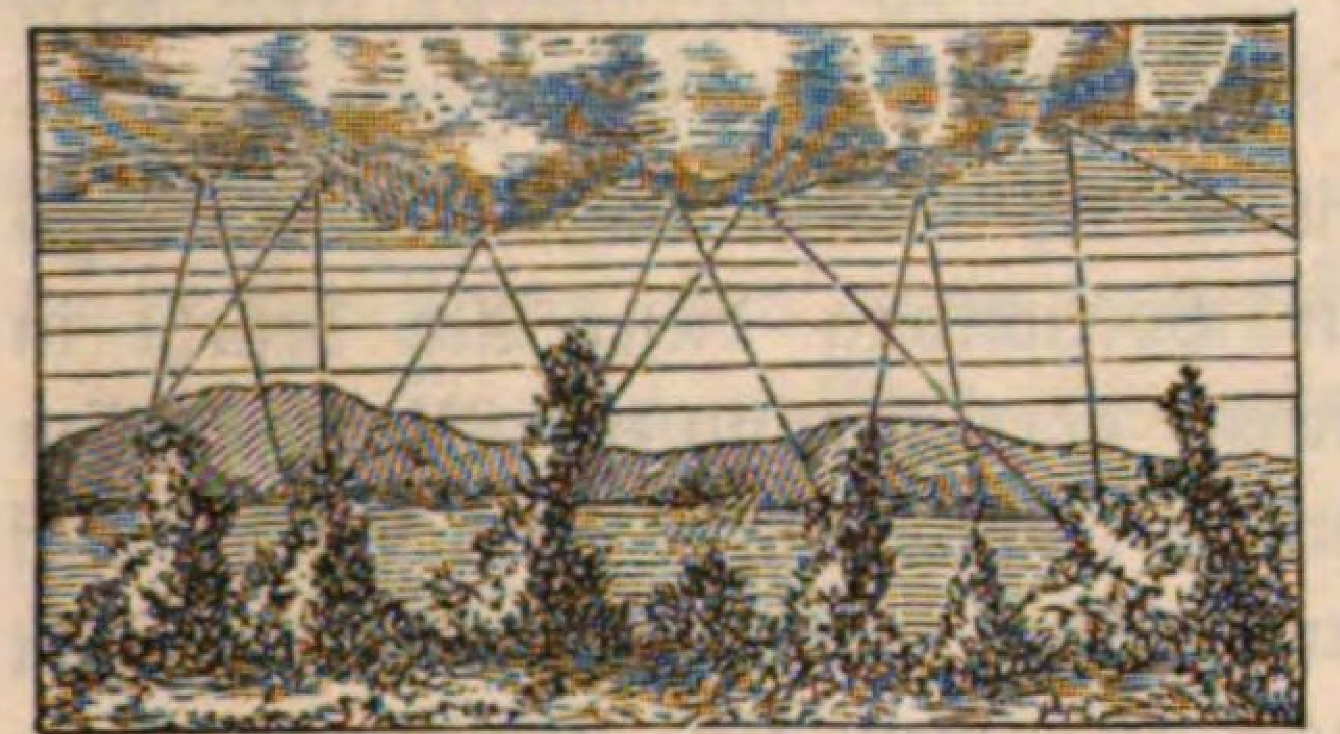
Die Luft enthält zu allen Zeiten Wasserdampf. Wird sie unter die Temperatur des Sättigungspunktes abgekühlt, so erfolgt, wie wir gesehen haben, ein Niederschlag in der Form vom Regen oder Schnee. Ragen Körper in die Luft hinein, welche aus irgend einer Ursache stärker erkalten, als die Luft selbst, so wird die Luft, welche mit diesen Körpern in Berührung ist, durch Strahlung und Leitung Wärme verlieren, also kälter werden. Ueberschreitet dabei die Temperaturerniedrigung den Sättigungspunkt, so setzt sich der Wasserdampf dieser Luft an den kältern Körpern ab. Man nennt den Niederschlag Thau, wenn er in flüssiger, Reif, wenn er in fester Form erfolgt. Doch ist es durchaus falsch, den Reif als gefrornen Thau anzusehen, weil bei der Reifbildung der Wasserdampf unmittelbar aus dem gasförmigen in den festen Zustand übergeht, ohne vorher die Form eines Liquidums angenommen zu haben. Sinkt aber die Temperatur nach erfolgter Thaubildung auf oder unter den Gefrierpunkt, so entsteht der Eisanhang, an den Bäumen, oder das Glatteis, auf dem Boden, doch erzeugt sich das letztere auch bei förmlichem Regen, wenn die Temperatur des Bodens unter 0° steht.

Am reichlichsten beschlagen sich diejenigen Körper mit Thau, welche ein großes Wärmeausstrahlungsvermögen besitzen. Zu diesen gehören vor allen die grünen Theile der Vegetabilien, wie die Blätter und die jungen Triebe.

Bei heiterm Himmel sinkt ihre Temperatur in den Sommernächten gewöhnlich 2 bis 3 Grade unter diejenige der Luft; auf den Cordilleren, in 2000 bis 3000 Metern über dem Meer beobachtete Boussingault beim Grase sogar eine Temperaturerniedrigung von 5 bis 6 Graden, was wahrscheinlich der geringeren Dichte der Luft in dieser Höhe zuzuschreiben ist, welche die Ausstrahlung erleichtert. Rauhe Körper verlieren mehr Wärme durch Strahlung, als glatte; deswegen beschlägt sich gelockerter Boden stärker mit Thau, als unbearbeitetes Erdreich.

Wenn der Himmel mit Wolken überzogen ist, so thaut es nicht. Die Wärme, welche die Pflanzen nach den höhern Schichten der Atmosphäre hin ausstrahlen, wird von den Wolken aufgefangen und wieder nach der Erdoberfläche zurückgeworfen. (Fig. 119.) Die Temperatur der Pflanzen kann deshalb nicht in dem Maße sinken, daß der Thaupunkt eintritt.

Fig. 119.



Es ist ein nothwendiges Erforderniß für die Thaubildung, daß die Luft nicht in Bewegung begriffen sei. Findet ein Luftwechsel, z. B. durch Wind, statt, so wird die kalte Luft in der Umgebung der Pflanzen sogleich durch wärmere verdrängt; die letztere kommt dann auch mit den Pflanzen selbst in Berührung und hebt die durch die Ausstrahlung bewirkte Temperaturerniedrigung wieder auf. Deswegen thaut es stärker in den vor Luftzug geschützten Thälern, als auf den Höhen.

Die Menge des Thauniederschlags ist um so größer, je mehr Feuchtigkeit die Luft enthält. Deswegen fällt der Thau am reichlichsten in den Aequinoctialgegenden. „In den heißen Ländern übernachtet man selten in einem freien Waldplatze, ohne beständig das Wasser von den umgebenden Bäumen rieseln zu hören, wenn die Nacht der Strahlung günstig ist. Unter vielen Beobachtungen dieser Art kann ich eine im Fort von Cauca gemachte anführen. Die Nacht, die ich hier am Eingange der Festung zubrachte, war ausgezeichnet schön, dennoch regnete es in dem Walde, welcher in der Entfernung von einigen Metern lag, sehr stark, und man konnte bei stattfindendem Mondscheine von den obern Zweigen der Bäume das Wasser herabrieseln sehen. — In den Steppen von San Martin hielt es mir oft schwer, behufs der Höhenaufnahme der Gestirne einen künstlichen Horizont von schwarzem Glase anzuwenden, in demselben Augenblicke, wo der Apparat unter den freien Himmel kam, schlug sich auf der Oberfläche des Glases eine so große Menge Wasser nieder, daß es nach allen Seiten herabfloß, man mußte seine Zuflucht zum Quecksilber nehmen, um von dem Gestirne, welches man eben beobachtete, ein Bild zu erhalten.“ Boussingault.

Die Häufigkeit der Thauniederschläge wächst mit steigender Meereshöhe, dagegen nimmt die Menge des Thauwassers in eben dem Maße ab.

Der eigentliche Thau bildet sich nur durch Verdichtung des in der Luft enthaltenen unsichtbaren Wasserdampfes. Ist die Luft mit Nebel erfüllt, so schlägt sich dieser an kälteren Gegenständen oft gerade so nieder, wie der Thau, es vereinigen sich in diesem Falle die Nebelbläschen auf der Oberfläche des erkalteten Körpers. Hierbei wird mitunter eine so beträchtliche Menge tropfbar flüssigen Wassers gebildet, daß z. B. unter Bäumen ein förmlicher Regen entsteht, wie dies der Verf. in der Gegend von Frankfurt am Main gar oft beobachtet hat. Einige Striche an der regenlosen Küste von Chile erhalten ihre Feuchtigkeit blos durch die Verdichtung der Nebel.

Um die Menge des Thaues zu bestimmen, bedient man sich der sogenannten Drosometer. Die einfachste Vorrichtung dieser Art besteht in einem umgestürzten Hohlkegel von lackirtem oder verzinntem Blech, dessen engere Oeffnung in eine graduirte Glasröhre reicht. Dieses Instrument, auf welches wir unter den „Regenmessern" noch einmal zurückkommen werden, gibt aber geringere Thauniederschläge nicht mehr an, weil diese auf dem Trichter hängen bleiben; will man dieselben bestimmen, so trocknet man die Feuchtigkeit mit, vorher gewogener, Baumwolle ab und berechnet die Menge des Thaues nach der Gewichtszunahme der letztern. — Oft ist es von Wichtigkeit, irgend eine Substanz auf ihre Fähigkeit, sich mit einer größern oder geringern Menge von Thau zu beschlagen, zu untersuchen; in diesem Falle setzt man den betreffenden Körper, nachdem man ihn gewogen hat, auf eine metallene Unterlage und wägt ihn nach Beendigung des Versuches nochmals.

Ueber die Quantität der Thauniederschläge sind bis jetzt noch wenige Untersuchungen angestellt worden. Flaugergues fand, wie uns Schübler mittheilt, im Jahre 1823 zu Vivier im südlichen Frankreich die Menge des gefallenen Thaues = 2,9 Par. Linien, d. h. der sämmtliche Thau von diesem Jahre würde eine Schichte von 2,9 Linien Höhe gebildet haben. Es thaute im Jahre 1823 zu Vivier an 125 Tagen die mittlere Menge des an einem Tage fallenden Thaues betrug daher 0,023 Linien Höhe; der stärkste Thau fiel im October, wo seine Menge an einzelnen Tagen 0,04 Linien Höhe betrug; im ganzen Monat October fielen an 19 Tagen 0,75 Linien hoch Thau. — Nach Wessely beträgt die aus zehnjährigen Beobachtungen bestimmte Thaumenge zu Graz 0,03 bis 0,19, im Mittel 0,12 Wiener Zolle, oder 0,4 % des atmosphärischen Gesammtniederschlags. Der Reif soll sich zu Kremsmünster (am Fuße des Nordabfalles der Alpen), nach 49 jährigen Beobachtungen auf die 4 Jahreszeiten folgendermaßen vertheilen

Winter	0,50
Frühling	5,40.

Sommer 0,06
Herbst 5,60

In Graz fiel im Laufe von 21 Jahren

der letzte Reif am 30. März (Min.) und 21. Mai (Max.) — 25. April (Mittel.)
„ erste „ „ 17. Sept. (Min.) „ 20. Nov. (Max.) — 14. Oct. (Mittel.)

In unsern Gegenden ist das Thauwasser durch seine Reinheit ausgezeichnet; in den salzigen Steppen Rußlands zeigt der Thau, nach der Angabe des Naturforschers Pallas, oft einen bedeutenden Gehalt an Kochsalz.

Der Honigthau, mit welchem die Blätter von manchen Pflanzen, z. B. den Linden, im Sommer oft in reichlicher Menge bedeckt sind, besteht aus Traubenzucker und Mannit. Er rührt entweder von krankhaften Ausscheidungen zuckerhaltiger Säfte, oder von den Excrementen gewisser Blattläuse her. Der Zucker wird durch zwei Höcker am Hinterleib abgesondert.

Der sogenannte Mehlthau soll aus kleinen Pilzen bestehen.

8. Regenmenge.

a. Begriff.

Den Ausdruck „Regenmenge" hat man bisher nicht blos auf den wirklichen Regen, sondern auf alle wässerigen Niederschläge, also auf Thau, Reif, Schnee 2c. bezogen. Auch wir wollen das Wort in dieser Bedeutung nehmen.

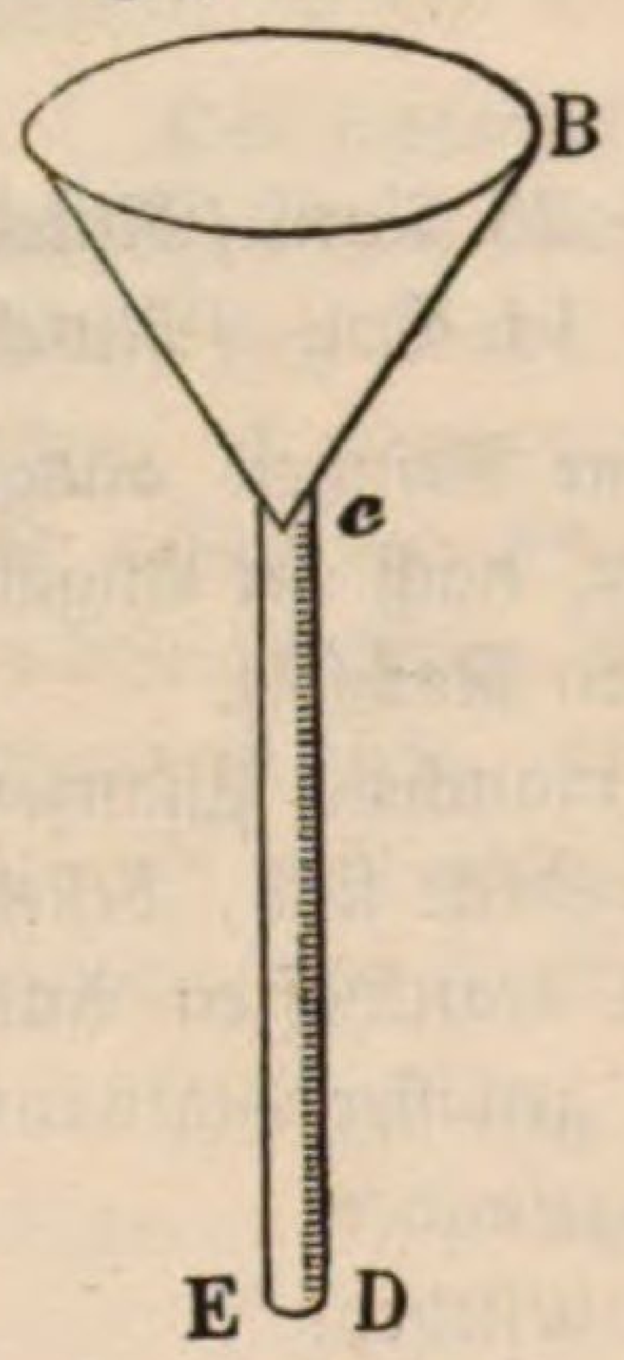
Die Menge Regen, welche auf eine gewisse Fläche, z. B. den Hectare den Morgen, im Laufe eines Jahres, Monats oder Tages gekommen ist, wird entweder durch das Gewicht des Wassers (Kilogramme, Pfunde u. dergl.) ausgedrückt, oder man gibt, was gebräuchlicher ist, die Höhe der Wassersäule an, welche die gesammte Regenmenge einnehmen würde, wenn von derselben gar nichts durch Abfluß, Verdunstung 2c. verloren ginge. Wenn es also z. B. heißt: in Paris beträgt die jährliche Regenmenge 563 Millimeter, so sagt dies nichts Anderes als: sämmtliche meteorischen Niederschläge vom Jahre könnten eine Schichte Wasser bilden, welche überall in Paris 563 Mm. Höhe besitzen würde. Hierbei ist also, wie man sieht, die Angabe einer Fläche gar nicht nöthig. Aus der Höhe der Regenmenge läßt sich aber das Gewicht des Wassers für irgend eine Fläche, z. B. den Hectare leicht berechnen. Der Hectare enthält 100. 100=10000 Quatratmeter; die Regenmenge pro Hectare beträgt also 10000. 0,563=5630 Kubikmeter, oder, da ein Kubikmeter Wasser = 1000 Kilogramme wiegt, 5630000 Kilogramme.

b. Regenmesser.

Regenmesser, Ombrometer, werden die Instrumente genannt, mittelst welcher man die meteorischen Niederschläge (Regen, Schnee 2c.) auffängt und zugleich bemißt. Die gebräuchlichsten Apparate sind folgende:

α. Regenmesser mit graduirter Glasröhre.

Fig. 120.

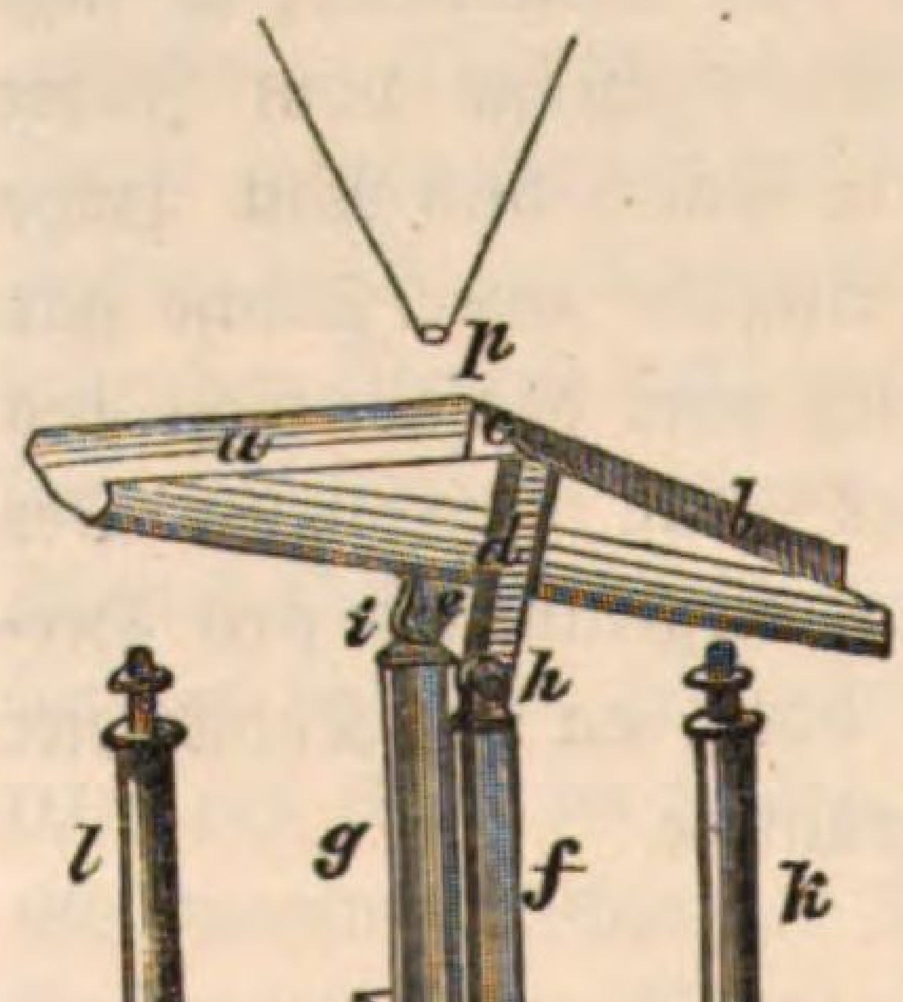


Ein von lackirtem Blech gefertigter Trichter, dessen obre Weite AB bekannt ist, (Fig. 120.) steht durch die enge Oeffnung bei c mit der graduirten Glasröhre cD in Verbindung. Der Regenmesser wird an einem freien Orte aufgestellt; von Zeit zu Zeit mißt man das Wasser in der Röhre und gießt es, nachdem dies geschehen ist, aus. Hat sich der Trichter mit Schnee gefüllt, so wird dieser mittelst einer zuvor gemessenen Quantität warmen Wassers geschmolzen, wenn man nicht vorzieht, den Apparat ins Zimmer zu nehmen und den Schnee hier aufthauen zu lassen. Bei Reif kann man warten, bis ihn die Tages- oder Sonnenwärme flüssig macht. Die Regenhöhe h in der Glasröhre muß nun auf die obere Fläche der Trichteröffnung bezogen werden; dies geschieht indem man h mit $\frac{AB}{DE}$ multiplizirt, wobei DE den Querdurchmesser der Röhre vorstellt; es ist also die wirkliche Regenhöhe $h' = h. \frac{AB.}{DE}$ Dem Trichter kann man eine Weite (AB) von 2 bis 3 Decimetern, der Röhre einen Durchmesser von 1—2 Centimeter geben. Um bei starken Schneefällen keine Verluste zu erhalten, wird auf dem Trichter noch ein ½ Meter hoher cylinderförmiger Aufsatz, gleichfalls von lackirtem Blech, angebracht.

β. Horner's Regenmesser.

Dieses Instrument enthält, wie das vorige, einen Trichter p, welcher das Wasser auffängt. Dieses fließt aber nicht in eine Röhre, sondern in eine messingene Schaufel a, welche von einer andern, eben so großen Schaufel b durch die Querscheidewand c getrennt ist. (Fig. 121.) Die beiden Schaufeln ruhen vermittelst der Stäbchen d und e auf den Trägern f und g. Bei h und i befinden sich Gewerbe, welche eine auf- und niedergehende Bewegung sowohl der Schaufel a, als auch von b gestatten.

Fig. 121.



Nehmen wir an, die beiden Schaufeln seien aus der horizontalen Lage gebracht worden, und es stehe a höher als b, so wird das Wasser aus der Trichteröffnung p in die Schaufel so lange strömen, bis sie die Ueberwucht erhält und sich in einem spitzen Winkel gegen die Horizontale neigt. Bei dieser Gelegenheit gießt sie aber ihr Wasser aus, dieses läuft auf den Boden einer Kammer

in welcher die Schaufelvorrichtung aufgestellt ist. Nun steht die Schaufel b höher, als a, sie füllt sich ebenfalls nach und nach mit Wasser, bis auch sie endlich niedersinkt und ihr Wasser verliert, worauf wieder an a die Reihe kommt. Die Säulchen k und l dienen dazu, um die Schaufeln beim Niedergehen zu arretiren und um die Stellung der Schaufeln so zu corrigiren, daß immer eine bestimmte Quantität Wasser, z. B. 1 Kubikzoll entleert wird.

Weiß man nun, wie oft jede Schaufel ihr Wasser ausgeleert hat, so kennt man auch die Regenmenge, welche in den Trichter gelangt ist. Es handelt sich also nur noch darum, jede niedergehende Bewegung der Schaufeln aufzuzeichnen und dieses kann das Instrument leicht selbst verrichten. In der That haben wir hier in der Schwere des Wassers eine Kraft, welche eben so den Zeiger eines Zifferblattes in Bewegung zu setzen vermag, wie dieses durch das Gewicht an einer Uhr geschieht.

Die Anzahl des Fallens der beiden Schiffchen, auf die eine und die andere Seite, wird durch zwei Zahnräder von gleichem Durchmesser gezählt, von denen das eine dicht hinter dem andern befindlich ist. (Fig. 122.) Mit dem Charnier i, welches fest an c hängt, ist ein Haken m verbunden. Sinkt nun die Schaufel a, so zieht der Haken m das Rad um einen Zahn zurück; gleichzeitig hindert der Haken n, daß es nach der andern Seite überfällt. Das vordere Rad A enthält 50, das hintere 51 Zähne; da jedesmal zwei Entleerungen dazu gehören, um das Rad um einen Zahn zu drehen, so wird das 50er Rad nach 100 Ausleerungen eine ganze Rotation vollendet haben. Zum Messen der Anzahl dieser Rotationen des 50er Rades dient das 51er Rad. Dieses ist fest mit der Axe, welche den Zeiger γ trägt, und dem 50er Rad verbunden, während letzteres auf der Axe nur ganz lose sitzt; da ein Haken nun stets einen Zahn beider Räder zugleich faßt, so sind nach 50 Hin- und Hergängen 50 Zähne von jedem Rad angezogen worden, und das erste Rad ist 1mal, das andere nur $\frac{50}{51}$mal herumgegangen. Dies gibt der Zeiger γ zu erkennen, indem er nun um 1 Theilstrich zur Rechten des Nullpunktes steht. Bei einer folgenden Rotation des 50er Rades rückt er wieder um 1 Theilstrich fort ꝛc. Somit können also 5100 Ausleerungen abgelesen werden. Hierin liegt in der That der größte Vorzug des Horner'schen Regenmessers, gegenüber dem unter α beschriebenen. Dagegen hat jener den Nachtheil, daß bei starkem Regen das Schiffchen durch den Stoß oft früher umgekippt wird, ehe es die normale Quantität Wasser aufgenommen hat, und daß die hängenbleibenden Wassertropfen Unrichtigkeiten veranlassen.

Fig. 122.



c. Einflüsse, welche die Regenmenge bestimmen.

Die Regenmenge ist nicht allerwärts gleich; sie zeigt beträchtliche Ab-

weichungen nach der geographischen Breite, der Nähe des Meeres, dem Laufe der Gebirgszüge, der Erhebung über die Meeresfläche, den herrschenden Winden, der Tages- und Jahreszeit u. s. w.

α. Verschiedenheit der Regenmenge nach Verhältniß der geographischen Breite.

Sieht man von den Störungen ab, welche die übrigen, eben angeführten Einflüsse bewirken, so bemerkt man, daß die Regenmenge vom Aequator nach dem Pol hin abnimmt. Die folgenden Notizen mögen zum Belege dienen.

Breite	Orte	Regenmenge in Mmetern
12°02′	Insel Grenada	2844,9
18 56	Bombay	2350,0
23 09	Havanna	2320,7
29 57	New-Orleans	1270,0
32 46	Charlestown	1210,9
38 43	Lissabon	685,5
44 50	Bordeaux	650,0
48 46	Stuttgart	629,3
52 31	Berlin	530,1
55 00	Copenhagen	468,4
59 51	Upsala	392,4

Regentage. Die Anzahl der Regen, welche im Laufe eines Jahres stattfinden, nimmt vom Aequator nach dem Pol hin zu, wie sich aus der nachstehenden Zusammenstellung von Schübler ergibt.

Orte	Regentage	Orte	Regentage
Verona	84	Mannheim	145
Montpellier	85	Würzburg	141
Orange	94	Mainz	140
Turin	100	Trier	146
Chambery	114	Metz	159
St. Bernhard	107	Düsseldorf	132
Genf	103	Hagenau	166
Wien	114	Regensburg	130
Prag	109	Erfurt	128
München	137	Göttingen	162
Augsburg	148	Wartburg	161
Straßburg	153	Ilmenau	181
Stuttgart	155	Berlin	171
Tübingen	110	Hamburg	136
Giengen	143	Cuxhafen	145

Orte	Regentage	Orte	Regentge
Jena	178	Rotterdam	187
Brüssel	164	Moskau	168
Dünkirchen	157	Petersburg	181

Dichtigkeit des Regens. Da die Regenmenge mit der Breite abnimmt, dagegen die Anzahl der Regentage mit der Breite wächst, so können offenbar die Regengüsse in höhern Breiten nicht so viel Wasser liefern, als in Gegenden, welche näher am Aequator liegen. Die durchschnittliche Dichte des Regens erhält man durch Division der in Tagen, Stunden rc. ausgedrückten Zeitdauer des Regens in die gesammte Regenmenge. Für die folgenden Orte ergibt sich die aus dem jährlichen Durchschnitt ermittelte Dichte des Regens, wenn man diejenige von Petersburg = 1 setzt:

Orte	Dichte des Regens	Orte	Dichte des Regens
Turin	3,71	Regensburg	1,77
Padua	3,45	Wien	1,51
Orange	3,22	Berlin	1,23
St. Bernhard	5,44	Prag	1,58
Genf	2,80	Paris	1,44
Augsburg	2,60	London	2,81
Stuttgart	1,63	Copenhagen	1,03
Mannheim	1,45	Petersburg	1,00

β. Einfluß der Seenähe auf die Regenmenge.

Orte, welche am Meer liegen, werden von den feuchten Seewinden getroffen, welche zu Niederschlägen geneigt sind, also die Regenmenge vermehren. Je weiter die Winde in das Land vordringen, um so trockener werden sie, so daß Binnenländer eine geringere Regenmenge genießen, als Küsten oder freiliegende Inseln. Es beträgt z. B. die jährliche Regenmenge

an der Westküste Englands	an der Ostküste Englands
915,5 Mmeter	686,7 Mmeter
an der Westküste Frankreichs	in Schweden
650,0	476,6
	in Rußland
	364,1

Auch die Zahl der Regentage nimmt ab, je weiter ein Ort im Innern des Continentes liegt. So regnet es z. B. im Laufe des Jahres

in Petersburg 181 mal
„ Moskau 168 „
„ Kasan 90 „
„ Jakutzk 60 „

γ. Einfluß der Gebirge.

Die Gebirge bieten ein natürliches Hinderniß für den Zug der Regenwolken dar, sie lassen ihnen Zeit, ihre Feuchtigkeit abzusetzen. Daher kommt

es, daß die Küste von Norwegen bei weitem mehr Regen erhält, als das jenseits der Kijölen liegende Schweden. Vergleichen wir beispielsweise die Regenmenge von Bergen und Stockholm.

Bergen	Stockholm
2250,4 Mmeter	518,8 Mmeter

Ueberall, wo ein Land von Gebirgen durchschnitten wird, finden sich oft ganz nahe bei einander Localitäten, an denen die Regenmenge und zwar mitunter nicht unbedeutend differirt. So regnet es z. B. in dem von hohen Bergwänden eingeschlossenen Heidelberg erfahrungsmäßig viel öfter, als in dem frei gelegenen Mannheim.

δ. Einfluß der Erhebung über die Meeresfläche.

Da es nur dann regnet, wenn die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt ist, so folgt hieraus, daß die Regentropfen während ihres Falles von der Höhe nach der Tiefe sich fortwährend vergrößern müssen. Directe Beobachtungen bestätigen diesen Schluß. In dem Hofe des physikalischen Observatoriums zu Paris sind zwei Regenmesser, der eine zu ebener Erde, der andre 28,5 Meter höher, aufgestellt. Im Durchschnitt von 22 Jahren betrug die Regenmenge

im obern Regenmesser	im untern Regenmesser	Verhältniß
507,41 Mmeter	576,79 Mmeter	1 : 1,36

Doch ist das Verhältniß nach den Jahreszeiten verschieden. Es gestaltet sich

	für den obern		untern
	Regenmesser		
im Winter	= 1	:	1,006
„ Frühling	= 1	:	1,004
„ Sommer	= 1	:	1,016
„ Herbst	= 1	:	1,015

Trotz dem, daß die Regenniederschläge in der Höhe geringer, als in der Tiefe sind, erreicht doch die jährliche Regenmenge im Gebirge einen größern Betrag, als in der Ebene. Es kann dies blos daherrühren, weil es dort mehr Regentage gibt*). Wenn nämlich eine Wolke über die Ebene zieht, so fallen wie wir früher gesehen haben, die Nebelbläschen, aus denen sie besteht, unaufhörlich nach der Tiefe hinunter; ist hier die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, so

*) Oder weil hier der Regen längere Zeit anhält. Die Meterelogen sollten nicht blos die Tage notiren, an denen es regnet, sondern zugleich die Zeitdauer bemerken, während welcher es geregnet hat. In manchen Gebirgen mit großer Regenmenge ist die Zahl der Regentage von der in der Ebene wenig verschieden. Man hat hieraus auf eine größere Dichte des Regens im Gebirge geschlossen, was offenbar unrichtig ist. Oft regnet es im Flachland nur einige Stunden, während der Regen an demselben Tage im Gebirge gar nicht nachläßt.

entsteht ein Regenniederschlag, und die Tropfen wachsen während ihres Falles; hat aber die Luft in der Tiefe den Thaupunct noch nicht erreicht, so löst sich der Nebel wieder zu unsichtbarem Wasserdampf auf und kehrt zur Wolke zurück, wo der letztere sich von neuem verdichtet. Im Gebirge ist die Temperatur niedriger, als in der Ebene, dort findet das fallende Nebelbläschen diese warmen, vom Thaupunct entfernten Luftschichten nicht so häufig, als in der Ebene, und das ist der Grund, warum Nebel- und Regentage dort häufiger eintreffen, als hier. Es mangelt an vergleichenden Notizen über die Zahl der Regentage im Gebirge, so daß wir den eben ausgesprochenen Satz nicht genau numerisch belegen können; doch ist es jedem Reisenden bekannt, wie selten heitere Tage auf höhern Bergen sind, und daß es hier gar häufig regnet, während die Ebene blos bedeckten Himmel hat.

Nachstehend einige Anhaltspuncte über die Regenmenge in Hochlagen.

Orte	Höhe	Jährliche Regenmenge
Tegernsee	730 Meter	1331 Mmeter
St. Bernhard	2474 „	1601 „
Freudenstadt im Schwarzwald	700 „	1545 „
Würtemberg	256 „	678 „
	430 „	742 „
	728 „	977 „

ε. Einfluß der Winde.

Sowohl die Häufigkeit, als auch die Menge der Regenniederschläge hängt von den Winden mehr, als von jeder andern Ursache ab. Warme Winde, welche ihren Lauf über Meere oder größere Seen genommen haben, sind besonders zu Niederschlägen geneigt; sie lassen einen Theil ihrer Feuchtigkeit fahren, sobald ihre Temperatur sich ermäßigt, mag dies nun durch Vorrücken des Windes in höhere Breiten oder durch Zusammentreffen mit einem andern, kälteren Winde geschehen. Je weiter ein Wind in das Innere der Continente vordringt, um so mehr nimmt sein Feuchtigkeitsgehalt ab, um so weniger häufig kann er dann Regen bringen. Dies ist besonders dann der Fall, wenn der Wind höhere Gebirge passirt hat, auf denen sein Gehalt an Wasserdampf abgesetzt worden ist. So erhält z. B. der südliche Abfall der Alpen viel mehr Regen von den Südwinden, als der nördliche.

Ob ein Wind häufig Regen bringt, hängt eben so wohl von der Häufigkeit, mit welcher dieser Wind weht, als auch von seiner specifischen Geneigtheit zu Niederschlägen ab. Die letztere erfährt man, wenn man untersucht, wie oftmal ein bestimmter Wind wehen muß, bis ein Niederschlag erfolgt.

Die nachstehende Tafel gibt für mehrere Orte unter a an, wie oft unter 100 Winden, die im Laufe des Jahres wehen, der Nord, Nordost u. s. w. Regen, Schnee ꝛc. bringen; in der Spalte b dagegen ist ausgeworfen, wie oftmal der Nord, Nordost u. s. w. wehen muß, bis ein Niederschlag eintritt.

	Berlin		Erfurt		Carlsruhe		Prag		Mannheim		Würzburg	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
Nord	4,1	5,8	7,2	8,5	6,9	5,3	7,3	4,3	6,8	6,1	6,4	8,3
Nordost	4,0	8,1	7,7	7,3	9,6	11,8	3,5	9,2	5,8	8,4	3,8	11,2
Ost	4,9	8,8	16,4	9,1	1,7	13,7	2,5	13,5	7,4	6,3	6,2	8,9
Südost	4,9	6,9	3,7	10,2	1,0	4,8	4,4	12,7	13,3	3,3	8,9	5,3
Süd	10,2	3,8	7,0	7,8	30,9	3,8	9,1	7,8	14,9	2,7	16,2	4,4
Südwest	32,8	2,8	17,7	6,8	56,8	2,9	24,8	5,1	23,3	2,7	24,9	4,1
West	24,8	4,2	28,5	5,8	17,0	3,5	23,6	4,3	16,2	2,9	23,0	5,4
Nordwest	14,4	4,5	11,8	3,7	4,0	4,4	24,8	3,8	12,3	4,6	10,6	6,8
	100,0		100,0		100,0		100,0		100,0		100,0	

Man sieht hieraus, daß die Mehrzahl der Regenniederschläge im Laufe des Jahres bei Südwest und West stattfinden; diese beiden Winde bringen aber auch viel öfter Regen, als eine gleiche Anzahl von den übrigen Winden, denn sie brauchen z. B. in Berlin nur 3 bis 4mal (Spalte b) zu wehen, bis Regen eintritt, während der Nordwind fast 6mal, der Nordost über 8mal, der Ost beinahe 9mal zu wehen hat, ehe ein Niederschlag erfolgt.

Auch auf die Heiterkeit oder Trübe des Himmels üben die Winde einen regelmäßigen Einfluß aus. Beobachtungen zu Kopenhagen ergaben folgende Resultate, wobei wieder in Spalte a ausgeworfen ist, wie oft von 100 Winden jeder der 8 Hauptwinde heiteren, bewölkten oder überzogenen Himmel bringt, während die Spalte b zeigt, wie oft jeder der genannten Winde wehen muß, damit einer von den drei unterschiedenen Zuständen des Himmels eintritt.

	Heiterer Himmel		Bewölkter Himmel		Ueberzogener Himmel	
	a	b	a	b	a	b
Nord	15	2,7	6	2,7	5	4,2
Nordost	19	3,2	9	2,4	8	3,9
Ost	29	4,0	16	2,6	20	2,7
Südost	6	7,1	6	2,1	7	2,7
Süd	7	7,7	9	2,1	10	2,5
Südwest	8	14,3	21	2,0	22	2,4
West	8	16,6	26	1,9	25	2,5
Nordwest	8	4,6	7	1,6	3	6,0
	100		100		100	

Hieraus ergibt sich, daß Süd und Südwest am wenigsten oft heiteres, Wetter bringen; dieses kommt vielmehr mit dem Nord, Nordost und dem Ostwind. In Deutschland sind die Verhältnisse die nämlichen, wie zu Kopenhagen.

ζ. Einfluß der Tages- und Jahreszeit.

In Europa regnet es durchschnittlich am Tage, in den Aequatorialge-

genden mehr bei Nacht. So fand Boussingault zu Marmato im Jahr 1837 die Regenmenge

im Monat	am Tage (Mmeter)	in der Nacht (Mmeter)
October	34	151
November	18	208
December	2	159

Was die Vertheilung des Regens auf die vier Jahreszeiten anlangt, so zeigt diese in Europa große Verschiedenheiten.

An den Westküsten unseres Continents, also in England, Norwegen, den Niederlanden, dem westlichen Frankreich fällt die größte Regenmenge im Herbst, was wahrscheinlich daher rührt, weil das im Sommer erwärmte Meer seine Temperatur bis in den Herbst hinein bewahrt und in dieser Jahreszeit viele Dämpfe entwickelt, die sich über dem kälteren Land niederschlagen. Bis die vom Atlantischen Ocean kommenden Winde nach Schweden, Rußland und Deutschland gelangen, sind sie eines großen Theils ihrer Feuchtigkeit beraubt. In den so eben genannten Ländern, sowie in Dänemark sind dagegen die Sommerregen vorherrschend. Im südlichen Italien und Frankreich ist die im Sommer fallende Regenmenge verhältnißmäßig sehr klein, weil in dieser Jahreszeit der von der Sahara kommende warme Luftstrom die Wolkenbildung verhindert; dagegen erreicht in diesen Ländern die Regenmenge des Herbstes einen höhern Werth. Dies gilt auch für den südlichen Abhang der Alpen.

Die nachstehende Tabelle gibt die Zahlenverhältnisse für die Vertheilung des Regens in den vier Jahreszeiten.

	Regenmenge in Millimetern.			
Länder	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
Westliches England	239,6	171,0	221,6	283,3
Oestliches England	166,5	145,0	171,1	204,1
Westküste Frankreichs	185,7	140,9	170,2	246,5
Südliches Frankreich und Italien	195,2	194,2	133,2	291,7
Nördliches Frankreich und Deutschland	126,5	148,0	229,7	174,2
Scandinavien (ausschl. Norwegens)	81,4	76,1	170,7	148,4
Rußland	40,3	59,9	166,7	97,2

Wie wir oben gesehen haben, regnet es, unter sonst gleichen Umständen, im Gebirge mehr, als in der Ebene; wir müssen jetzt hinzufügen, daß der Ueberschuß hauptsächlich auf den Sommer kommt.

Wenn man den Gang der Regenniederschläge durch die einzelnen Monate eines, oder selbst mehrerer Jahre verfolgt, so bemerkt man viel größere Unregelmäßigkeiten, als im Gange der Temperatur In Deutschland fällt die geringste Regenmenge an einigen Orten im Januar, an andern im December

und Februar; die größte tritt, je nach der Localität, sowohl im Juni, als auch im Juli und August ein.

Die Wassermenge, welche bei einzelnen Regengüssen fällt, übersteigt manchmal den jährlichen Durchschnitt um das Vielfache. So beobachtete man zu Bombay (jährl. Regenmenge 2380 Mmeter) an einem Tage im Jahre 1819 einen Regenfall von 162 Mmetern; zu Brüssel fielen am 4. Juni 1839 in drei Stunden 160 Mmeter.

9. Bestandtheile des Meteorwassers.

Das Regen-, Schnee- und Thauwasser enthält nicht blos reines Wasser, Wasserstoffoxyd, sondern außerdem noch verschiedenartige organische und anorganische Substanzen, welche in ihm entweder gelöst, oder blos suspendirt sind, und zum größten Theil aus der Luft stammen. Doch ist es wahrscheinlich, daß einige von diesen Stoffen schon in dem Wasser enthalten waren, aus denen sich die Dünste entwickelten, welche späterhin den Regen, Schnee und Thau bildeten. Wie früher bemerkt wurde, fällt in der Nähe der Russischen Salzseen salziger Thau; es muß daher ein salzhaltiger Dunst aus diesen Seen aufgestiegen sein. Auf dieselbe Weise können Natron, Kali u. s. w. in das Meteorwasser gelangen.

Es liegen bis jetzt nur sehr wenige Untersuchungen des Regen-, Schneewassers u. s. w. vor, auch haben die Analytiker die verschiedenen Modificationen der meteorischen Niederschläge nicht immer von einander gesondert.

Bertels untersuchte ein Jahr lang jeden Monat das Regen- und Schneewasser auf seinen Gehalt an festen Bestandtheilen und berechnete hieraus unter der Annahme, daß dasselbe jährlich eine Höhe von 3 Preuß. Fußen = 0,9417 Meter bilde, die Gesamtmenge an festen Stoffen für den Magdeburger Morgen. Wir theilen seine Resultate, reduzirt auf den Franz. Hectare mit.

Nach Bertels kommen auf 1 Hectare

Kohlensaure Kalkerde	78 Kilogramme
" Talkerde	51 "
Kochsalz	67 "
Gyps	51 "
Eisenoxyd	22 "
Alaunerde	21 "
Kieselerde	43 "
Organische, Stickstoff enthaltende Körper	75 "
Kali, als kohlensaures berechnet	38 "
Verlust (kohlens. Ammoniak, Humussäure)	19 "
	465 Kilogramme

Merkwürdiger Weise enthielt das Schneewasser stets mehr feste Bestandtheile, als das Regenwasser.

Die Analysen von Bertels werden durch diejenigen von Barral vervollständigt. Der letztere untersuchte das Regenwasser, welches im Hofe des Observatoriums zu Paris vom ersten Juli 1851 bis zum 30. Juni 1852 gefallen war. Nach Barral kommen auf 1 Hectare

46,3 Kilogramme Salpetersäure
13,8 „ Ammoniak.
Der Stickstoffgehalt beträgt
12,5 Kilogramme für die Salpetersäure
10,0 „ „ das Ammoniak

Die Ammoniakmenge nahm in den Monaten ab, in welchen die Menge Salpetersäure zunahm. Dieses fand immer bei Gewittern statt. (S. S. 167.)

Die Menge des Chlors betrug 11 Kilogramme. Dieses entspricht 18,1 Kilogrammen Kochsalz, also bedeutend weniger, als Bertels gefunden hat. Vielleicht erklärt sich diese Differenz dadurch, daß die Localität, wo Bertels das Regen- und Schneewasser auffing, Hinterpommern, näher am Meere liegt, als Paris. Andere Naturforscher haben ebenfalls beobachtet, daß das Regenwasser in Gegenden am Meere viel mehr Kochsalz enthält, als im Binnenlande.

Die im Regenwasser suspendirten Stoffe enthielten in $\frac{1}{2}$ Jahr 1,2 Kilogramme Stickstoff (pro Hectare). Jod fand man blos im Regenwasser des Juni, und zwar 150 Milligramme pro Hectare.

Qualitative Analysen, welche im Laboratorium zu Gießen angestellt wurden, haben außer den vorgenannten Stoffen noch Phosphorsäure, freie Kohlensäure, Natron und Mangan nachgewiesen.

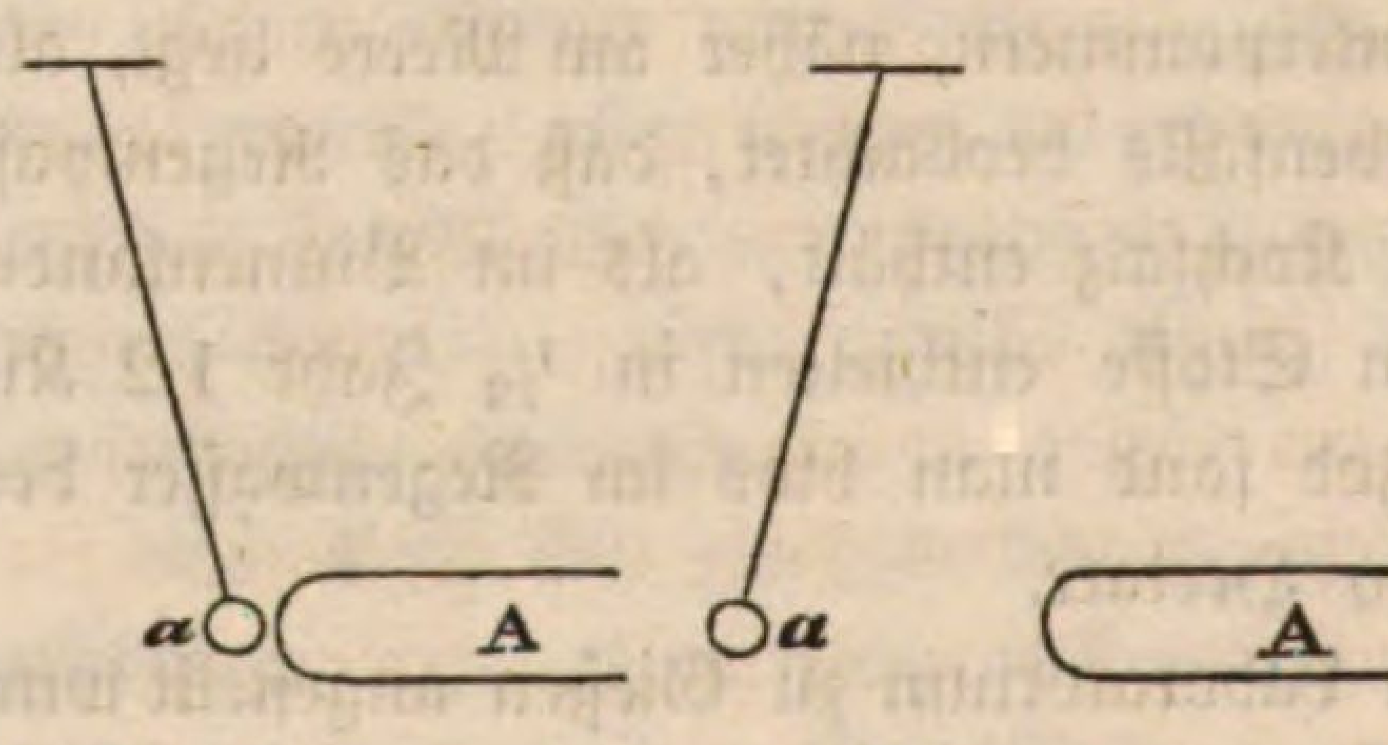
Achtes Buch.

Electricität.

1. Electrische Anziehung und Abstoßung, positive und negative Electricität.

Wenn man eine mit Wolle geriebene Harzstange A (Fig. 123) einem Hollundermarkkügelchen a, welches an einem Seidenfaden aufgehängt ist, nähert, so beobachtet man, daß das Kügelchen von dem Harz anfangs angezogen, dann aber abgestoßen wird. Der nämliche Vorgang zeigt sich, wenn anstatt der Harzeine Glasstange genommen wird.

Fig. 123.



Bringt man aber die Glasstange an die Stelle der Harzstange, nachdem das Kügelchen bereits von dieser abgestoßen worden ist, so wird man finden, daß die Glasstange nicht so, wie das Harz wirkt, d. h. daß sie das Kügelchen nicht ebenfalls von sich entfernt hält; sie zieht es vielmehr an und stößt es wieder ab, gerade so, wie wenn die Harzstange vorher nicht thätig gewesen wäre.

Man erklärt diese Erscheinungen, indem man annimmt, das Glas und Harz enthielten eine feine, unwägbare Materie, die Electricität, welche sich in zwei verschiedenen Zuständen, die als „positiv" und „negativ" bezeichnet werden, äußern könne. So lange das Glas oder Harz noch nicht gerieben ist, halten sich, so sagt diese Hypothese, beide Electricitäten im Gleichgewicht; durch das Reiben werden sie von einander getrennt; beim Harze tritt die negative, beim Glase die positive an die Oberfläche der Stange. Man nimmt nun weiter an, daß Körper, welche mit ungleichnamigen Electricitäten behaftet sind, einander anziehen, während die gleichartigen Electricitäten einander abstoßen. Wird die mit freier negativer Electricität versehene Harzstange dem Hollundermarkkügelchen genähert, so kommen auch dessen Electricitäten aus dem Zustand der Ruhe; die positive sammelt sich auf der Oberfläche des Kügelchens an; es wird deßhalb dasselbe von der Harzstange angezogen; nachdem die Berührung erfolgt ist, gleicht sich die positive Electricität des Hollundermarks mit der negativen des Harzes aus; letzteres behält aber, wegen seiner größern

Masse einen Ueberschuß von negativer Electricität zurück, und da die nämliche Electricität jetzt im Hollundermarkkügelchen frei vorwaltet, so wird dieses abgestoßen. Hat man anstatt des Harzes Glas zu dem Versuche verwandt, so sind blos die Electricitäten, welche nach einander auftreten, die entgegengesetzten von den so eben angenommenen. Wird dagegen die Glasstange dem Kügelchen erst dann genähert, nachdem es bereits von der Harzstange abgestoßen worden ist, so wird es von jener angezogen, denn das Glas enthält positive, das Kügelchen negative Electricität.

2. Gute und schlechte Leiter der Electricität, Isolatoren.

Wird ein Hollundermarkkügelchen an einem Metalldraht, anstatt wie vorhin an einem Seidenfaden aufgehängt, und nähert man nun dem Kügelchen eine Glas- oder Harzstange, so findet wohl eine electrische Anziehung, aber keine Abstoßung statt. Man erklärt diese Erscheinung, indem man annimmt, das Metall besitze die Eigenschaft, die frei gewordene Electricität des Hollundermarkkügelchens abzuleiten, während die Substanz des Seidenfadens die Entfernung der Electricität verhindere. Aehnlich wie das Metall wirken Kohle, Fleisch, grünes Holz, Wasser, feuchte Erde, Dämpfe — man nennt sie deßhalb gute Leiter der Electricität; der Seide analog verhalten sich Haare, Federn, Glas, Harz, Schwefel, Bernstein, trockenes Holz und trockene Luft; diese Substanzen werden deßhalb als schlechte Leiter bezeichnet. Zwischen den guten und schlechten Leitern stehen die Halbleiter; zu diesen gehören u. a. Kalk, Feldspath, Gyps, gewöhnliches lufttrocknes Holz, Papier u. s. w.

Ist ein electrisch gewordener Leiter (z. B. Eisen) mit einem Nichtleiter (z. B. Glas) so verbunden, daß jede Berührung des erstern mit andern guten Leitern unterbrochen wird, so verhindert der Nichtleiter das Entweichen der Electricität. Er wird, wenn er zu diesem Zwecke dient, I s o l a t o r genannt.

3. Electrischer Schlag und Funken.

Nähert man einem electrisirten Nichtleiter oder einem isolirten electrisch gewordenen Leiter den Knöchel eines Fingers der Hand, so fühlt man ein Stechen in demselben, welches zu einem förmlichen Schlage werden kann, wenn die Masse des electrisirten Körpers groß genug ist. In letzterm Falle sieht man zugleich einen Funken überspringen; in der Dunkelheit lassen sich selbst noch kleinere Funken wahrnehmen, die bei hellem Tageslicht nicht bemerkt werden.

Durch das eben beschriebene Verfahren oder durch unmittelbare Berührung kann einem electrisirten Körper nach und nach alle Electricität entzogen werden. Während dieselbe aber bei guten Leitern von einem einzigen Puncte aus entfernt werden kann, verlieren die schlechten Leiter ihre Electricität immer nur an der Stelle, wo sie zu dem ableitenden Gegenstand überspringt; um also Nichtleiter vollständig ihrer Electricität zu berauben, muß man alle Puncte ihrer Oberfläche mit Leitern in Verbindung bringen, z. B. eine geriebene Glas- oder Harzstange der ganzen Länge nach mit dem Finger bestreichen.

4. Ursachen der Electricitätsentwicklung.

Die Electricität kann in den Körpern durch mannigfache Ursachen erregt werden; von diesen haben für uns nur die Reibung, die Verdampfung und die Verbrennung Interesse.

Von der Reibungselectricität ist schon gehandelt worden; wir müssen noch hinzufügen, daß alle Körper durch Reibung in den electrischen Zustand versetzt werden können, daß man die frei gewordene Electricität bei guten Leitern aber nur dann wahrnimmt, wenn sie durch Isolatoren geschützt sind. — Auch durch Reibung von Flüssigkeiten und Gasen, z. B. zweier Luftschichten, kann Electricität entwickelt werden.

Wenn reines Wasser in einem Gefäße verdampft, so entsteht nur durch die Reibung des Dampfes an den Wänden des Gefäßes Electricität; diese tritt um so reichlicher auf, je enger die Oeffnung ist, aus welcher die Dämpfe entweichen. Enthält aber das Wasser noch andere Substanzen in Auflösung, von denen es sich bei der Verdampfung trennt, so wird schon allein durch diesen Prozeß, ganz abgesehen von der Reibung, Electricität frei. Dabei entweichen die Dämpfe mit positiver Electricität, während der Rückstand negative Electricität zeigt.

Bei allen chemischen Verbindungen und Zersetzungen tritt eine Entwicklung von Electricität auf. Wird Holz, Braunkohle, Steinkohle, Torf 2c. verbrannt, so bilden sich Wasserdampf und Kohlensäure, beide mit positiver Electricität; die Asche, sowie die nicht verbrannte Kohle erscheinen mit negativer Electricität beladen.

5. Electricität der Atmosphäre.

Wenn man bedenkt, daß das Wasser der Flüsse, Seen und Meere niemals rein ist, sondern immer aufgelöste Salze enthält, wenn man weiter erwägt, welche ungeheure Mengen von Brennstoff auf der Erde consumirt werden, so kann es nach dem Vorhergehenden nicht auffallen, daß in der Atmosphäre zu allen Zeiten freie Electricität gefunden wird. Diese ist bei heiterem Himmel stets positiv.

Die Stärke der Luftelectricität ändert sich fortwährend, doch lassen sich gewisse periodisch wiederkehrende Schwankungen beobachten. Ebenso, wie der Wasserdampfgehalt, zeigt die electrische Spannung zwei Maxima und zwei Minima. Die ersteren treten einige Stunden nach dem Sonnen-Aufgang und Untergang, die letztern eben so viel vor diesen beiden Momenten ein.

In den unteren Luftschichten ist die Electricität im Winter stärker, als im Sommer; die obern Luftschichten zeigen das entgegengesetzte Verhalten.

Bei trübem Wetter nimmt die Spannung der Electricität ab, weil feuchte Luft ein größeres Leitungsvermögen, als trockene besitzt. Winde und Gewitter stören den regelmäßigen Gang der Luftelectricität.

Alle atmosphärischen Niederschläge — also Thau, Reif, Schnee, Regen,

vorzüglich aber der Hagel — sind electrisch, desgleichen der Nebel und die Wolken. Im Sommer soll der Regen häufiger negativ, im Winter mehr positiv electrisch sein. Der Nebel und die Wolken enthalten fast immer positive Electricität.

6. Gewitter.

a. Ursachen der Gewitter.

Daß die beim Gewitter auftretenden Erscheinungen, wie Blitz, Donner, Einschlag *rc.* blos auf electrischen Vorgängen beruhen, wurde zuerst von Franklin in überzeugender Weise dargethan. Er ließ im Jahr 1752 zu Philadelphia einen gewöhnlichen Drachen, dessen Schnur von Hanf und angenäßt, also leitend, am untern Ende aber von Seide (isolirend) war, aufsteigen. Nachdem eine Gewitterwolke in das Bereich des Drachen gekommen war, erhielt Franklin aus der Schnur Funken von beträchtlicher Länge. Zugleich ließ sich ein Knistern hören, ähnlich demjenigen, welches man vernimmt, wenn man einer geriebenen Glas= oder Siegellackstange den Knöchel eines Fingers oder sonst einen Leiter nähert.

b. Blitz, Donner, Rückschlag.

Nach dem Vorhergehenden müssen wir annehmen, daß die Gewitterwolken viele freie Electricität enthalten. Diese wird aber auf die Electricität derjenigen Leiter, welche in der Nähe der Wolke befindlich sind, vertheilend einwirken, also die ungleichnamige Electricität anziehen und die gleichnamige abstoßen. Wenn die Wolke dem nunmehr gleichfalls mit freier Electricität behafteten Körper sich hinreichend genähert hat, so vereinigen sich beide Electricitäten unter lebhafter Feuererscheinung — Blitz. Der letztere verursacht, indem er die Luft erschüttert, den Donner.

Der Blitz kann sowohl von einer Wolke zur andern, als auch von einer solchen zur Erde, oder auch umgekehrt von der Erde zur Wolke überspringen. Immer sucht der Blitz den nächsten und besten Leiter, d. h. denjenigen auf, an dessen Oberfläche durch Einwirkung der vertheilenden Gewitterwolke am meisten Electricität sich angesammelt hat. Kirchen, hohe grüne Bäume werden deßhalb vorzugsweise vom Blitz getroffen, während dürre Bäume, als Nichtleiter, von demselben mehr verschont bleiben.

Zieht die Gewitterwolke ab, ohne daß eine Ausgleichung der Electricitäten durch den Blitz erfolgt ist, so tritt die erregte Electricität in dem andern Leiter wieder in den Ruhezustand zurück. War sie in bedeutender Spannung vorhanden, so erfolgt auf diesem Leiter eine wahrnehmbare Erschütterung, die man, weil sie öfters von ähnlichen Wirkungen, wie der Blitz selbst begleitet ist, mit „Rückschlag" bezeichnet.

c. Geographische Verbreitung der Gewitter.

Am häufigsten treten die Gewitter in den tropischen Gegenden, nament=

lich während der Regenzeit auf; ihre Anzahl nimmt vom Aequator an mit der wachsenden Breite, wiewohl in keinem regelmäßigen Verhältnisse, ab. In einem Jahr ereignen sich durchschnittlich Gewitter

zu Calcutta	Patna	Smyrna	Padua	Straßburg	Paris	Petersburg
60	53	19	17,5	17	13,8	9,2

In dem Meer bei Spitzbergen nahm Capitän Philipp von Ende Juni bis Ende August 1773 weder Blitz noch Donner wahr. Nach Scoresby finden in dieser Breite niemals Gewitter statt. Auch in Island gehören sie zu den größten Seltenheiten.

An einem und demselben Orte bleibt die Anzahl der Gewitter zwar nicht von Jahr zu Jahr, aber innerhalb größerer Zeitperioden ziemlich constant. So beobachtete man zu Paris

von	1785	bis	1805	durchschnittlich	jährlich	12,2	Gewitter
„	1806	„	1815	„	„	14,9	„
„	1816	„	1825	„	„	13,2	„
„	1828	„	1837	„	„	14,7	„

Die jährlichen Extreme gingen von 6 bis 22.

Die Anzahl der Gewitter wird, abgesehen von der Breite, auch noch durch die Nähe des Meeres und hauptsächlich durch die Configuration der Bodenoberfläche bestimmt. Größere Berge halten die Gewitter auf, oder zertheilen sie, wenn sich seitwärts von ihnen Thäler befinden (Wetterscheiden). Daher rühren die großen Verschiedenheiten hinsichtlich der Anzahl der Gewittertage in einem und demselben Lande. So haben z. B.

Lüneburg	Berlin	Erfurt	Mannheim	Augsburg	München	Wien
20,2	17,2	14,1	20,8	22,4	22,7	16,0

Gewitter.

In Deutschland fällt die Mehrzahl der Gewitter in den Sommer. Die Vertheilung auf die vier Jahreszeiten drücken die folgenden Zahlen im großen Durchschnitt für viele Localitäten annähernd aus. Von 100 Gewittern kommen auf

den Winter	1,9
den Frühling	22,4
den Sommer	67,7
den Herbst	8,0

In Frankreich sind die Sommergewitter nicht so häufig, im innern Rußland gehören die Wintergewitter zu den großen Seltenheiten. An der Norwegischen Küste und an der Ostküste des Adriatischen Meeres fallen dagegen die meisten Gewitter in den Winter.

In den Alpen soll die Zahl der Gewitter mit der Erhebung über die Meeresfläche zunehmen. In den Hochbergen geht der Gewitterregen, besonders im Herbst, oft in Schnee über.

Neuntes Buch.

Druck der Luft.

1. Schwere der Luft.

Daß die Luft schwer sei, läßt sich durch folgenden Versuch nachweisen. Man fülle eine Glasröhre von etwa 82 Centimetern Länge, welche an einem Ende zugeschmolzen, am andern offen ist, mit Quecksilber, schließe die Oeffnung mit dem Finger, drehe die Röhre um und tauche sie in ein Gefäß mit Quecksilber; dann ziehe man den Finger hinweg. Man wird bemerken, daß das Quecksilber sogleich etwas fällt, ohne bis zu dem Spiegel des Quecksilbers im Gefäße herabzusinken (Fig. 124). Ist z. B. der Versuch am Ufer des Meeres angestellt worden, so hält das Quecksilber eine Höhe von ungefähr 76 Centimetern (760 Mmetern) ein.

Fig. 124.



Die Erscheinung, welche der eben besprochene Versuch darbietet, läßt sich nur durch die Schwere der Luft erklären. Die letztere lastet nämlich auf dem Spiegel des Quecksilbers im Gefäße, sie hält zufolge dieses Drucks dem Quecksilber in der Röhre das Gleichgewicht. In der That sinkt dieses augenblicklich, wenn man eine Luftblase in den Raum oberhalb a eintreten läßt.

2. Das Barometer.

Jede Veränderung des Luftdrucks muß sich an dem Apparat Fig. 124, wahrnehmen lassen. Nimmt der Luftdruck zu, so steigt das Quecksilber, vermindert er sich, so fällt es in der Röhre.

Zu meteorologischen Beobachtungen dienen die sog. Barometer, welche nichts anders, als Modificationen des Instrumentes Fig. 124 sind. Man unterscheidet Gefäßbarometer und Heberbarometer.

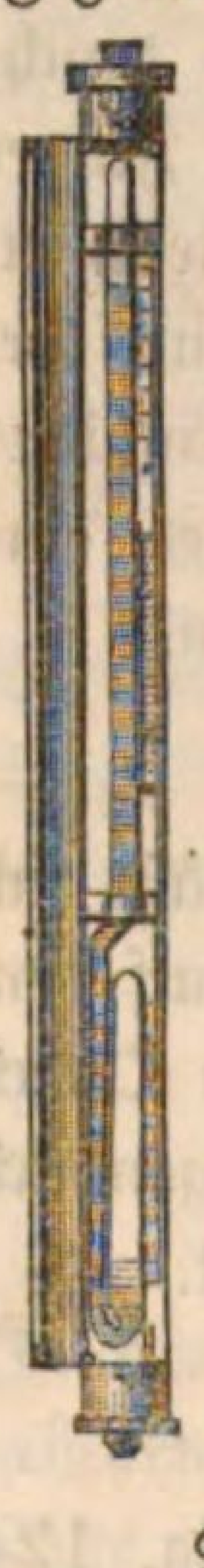
Das Gefäßbarometer besteht in einer gekrümmten Glasröhre, deren kürzerer offener Schenkel zu einer Kugel erweitert ist (Fig. 125). Dieses Instrument taugt indessen nicht zu ganz genauen Beobachtungen, weil der Quecksilberspiegel im Gefäß mit dem Wechsel des Luftdrucks seine Höhe ändert. Fällt nämlich das Quecksilber in der Röhre, so steigt der Spiegel im kürzern Schenkel, während er, umgekehrt, fällt, wenn das Quecksilber in der Röhre steigt. Da der Luftdruck durch den Unterschied zwischen der Höhe des Quecksilbers in beiden Schenkeln gemessen wird, so erhält man also immer einen Fehler, wenn der Nullpunct der Scala nicht genau mit dem Spiegel des Quecksilbers im Gefäße übereinstimmt. Die Größe dieses Fehlers vermindert sich aber in dem Maße, als der Querdurchmesser des Gefäßes den Durchmesser der Röhre übertrifft.

Fig. 125.



Zu ganz genauen Beobachtungen, wie sie insbesondere für barometrische Höhenmessungen nöthig sind, verwendet man das Heberbarometer (Fig. 126). Es unterscheidet sich von dem Gefäßbarometer dadurch, daß der kürzere Schenkel gleiche Weite mit dem längeren besitzt.

Fig. 126.



Die Höhe der Quecksilbersäule kann bei dem Heberbarometer auf verschiedene Weise gemessen werden, je nachdem die Scala verschiebbar oder fest ist.

Im erstern Falle stellt man den Nullpunct der Scala in eine Linie mit dem Niveau des Quecksilbers im kürzern Schenkel und liest dann ohne Weiteres die Höhe ab; im andern Falle mißt man die Höhe der beiden Spiegel und subtrahirt die gefundenen Größen. Diese Regel gilt aber nur dann, wenn der Nullpunct der Scala unterhalb des Spiegels der kürzern Röhre angebracht ist; hat der Nullpunct, wie bei vielen Barometern dieser Art, seine Stelle zwischen den beiden Quecksilberspiegeln, so liest man die Höhen aufwärts (für den längern Schenkel) und abwärts (für den kürzern Schenkel) ab und addirt beide Werthe. Damit man nur eine oder keine zu breite Scala nöthig habe, gibt man dem längern Schenkel eine Biegung in der Mitte, wie Fig. 126 zeigt. (Barometer mit verschiebbarer Glasröhre sind nicht zu empfehlen.)

Der beobachtete Barometerstand bedarf einer Correctur wegen des Einflusses, den die Wärme auf die Länge der Scala und der Quecksilbersäule ausübt.

Da die Scala mit zunehmender Temperatur sich ausdehnt, so wird sie die Länge der Quecksilbersäule bei höheren Temperaturen geringer angeben als bei niedrigern Temperaturen. Um übereinstimmende Angaben zu erhalten,

drückt man die Scalenlänge für eine bestimmte Temperatur aus, und da der normale Werth des neufranzösischen Maßes, welches wir auch hier zu Grunde legen wollen, nur für die Temperatur von 0° gilt, so reduziren wir die Länge der Scala auf die Temperatur von 0°.

Gewöhnlich ist die Scala der Barometer von Messing angefertigt; dieses Metall dehnt sich für 1°C. um $\frac{1}{54000}$ seiner Länge aus; eine Länge von 54000 Maßeinheiten (z. B. Mmetern) wird deshalb bei der Temperatur von t° gleich 54000+t Maßeinheiten sein. Ist β der bei der Temperatur t° mittelst einer messingenen Scala gemessene Barometerstand, so wird er sich für die Temperatur von 0° in β' umändern und diesen findet man nach der Proportion

$$54000 : 54000 + t = \beta : \beta'; \text{ hieraus}$$

$$\beta' = \frac{54000+t}{54000}\beta$$

Ist die Scala auf das Glas der Barometerröhre eingeäzt, so kann die Correctur wegen der Ausdehnung der Scala wegfallen, denn das Glas dehnt sich für 1°C. nur um $\frac{1}{116100}$ seiner Länge aus.

Auch die Länge der Quecksilbersäule reduziren wir auf den Werth, welchen sie bei der Temperatur von 0° haben würde. Das Quecksilber dehnt sich für 1°C. um $\frac{1}{5550}$ seiner Länge aus; eine Quecksilbersäule von 5550 Maßeinheiten wird daher bei der Temperatur von t° gleich 5550+t Maßeinheiten geworden sein; ist β wieder der beobachtete Barometerstand, so findet man den für die Temperatur 0° geltenden durch die Proportion

$$5550 + t : 5550 = \beta : \beta', \text{ hieraus}$$

$$\beta' = \frac{5550}{5550+t}\beta$$

3. Resultate der Beobachtungen am Barometer.

Da sowohl die Temperatur, als auch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft sich fortwährend ändert, so kann das Barometer nicht immer den nämlichen Stand behaupten. Nun findet aber eine gewisse Regelmäßigkeit im Gange der Luft-Wärme und Feuchtigkeit statt; es läßt sich deßhalb vermuthen, daß auch die Schwankungen des Barometers eben solchen Regeln folgen werden. Da aber an einem und demselben Ort die Höhe der Quecksilbersäule im Barometer um einen viel geringern Betrag sich ändert, als bei dem Thermometer, so muß man eine größere Anzahl von barometrischen Beobachtungen

anstellen, um in den erhaltenen Mittelwerthen die regelmäßigen Schwankungen gegenüber den unregelmäßigen deutlich hervortreten zu lassen.

a. **Schwankungen des Barometers im Laufe des Jahres.**

Die Beobachtung hat ergeben, daß der Barometerstand innerhalb 24 Stunden zweimal einen höchsten und zweimal einen niedrigsten Werth erreicht. Auf der nördlichen Hemisphäre tritt durchschnittlich

Das erste Minimum	um 3	Uhr 45	Minuten	Morgens	
„ zweite „	„ 4	„ 5	„	Nachmittags	
„ erste Maximum	„ 9	„ 37	„	Morgens	
„ zweite „	„ 10	„ 11	„	Abends ein.	

Dies sind die Mittelwerthe; verfolgt man den Barometerstand durch die einzelnen Monate des Jahres hin, so ergibt sich, daß in der kälteren Jahreszeit das erste Minimum und das erste Maximum etwas später, das zweite Minimum und das zweite Maximum etwas früher stattfinden, als in den wärmeren Monaten.

Die Größe, um welche die Schwankungen des Barometers sich bewegen, nennt man ihre Amplitude. Diese nimmt im Sommer einen höhern Werth an, als im Winter; sie vermindert sich außerdem vom Aequator nach den Polen hin, wie die nachstehende Zusammenstellung zeigt.

Orte	Lima	Cairo	Mailand	Frankfurt a/M.	Abo
Breite	12°03′	30°02′	45°28′	50°08′	60°27′
Tägliche Amplitude	2,71 Mm.	1,54	0,75	0,71	0,26

In größerer Erhebung über die Meeresfläche verschwindet das zweite Minimum und das erste Maximum, so daß hier nur ein Minimum und ein Maximum im Laufe von 24 Stunden eintritt. Auch die Amplitude der täglichen Schwankung ist auf höhern Bergen geringer, als an tiefer gelegenen Punkten, sie beträgt z. B. auf dem Faulhorn nur 1,09 Mm., während sie in Zürich = 1,56 Mm. ist.

b. **Monatliche Schwankungen.**

Die Amplitude der monatlichen Schwankungen ist im Winter größer, als im Sommer, sie nimmt vom Aequator nach den Polen hin zu. Dieselbe beträgt z. B. im Mittel für Batavia (6°12′ S. B.) 2,98 Mm.; für Rom 17,15; für Paris 23,66; für London 27,88; für Naes in Island 35,91 Mm.

c. **Jährliche Schwankungen und mittlerer jährlicher Barometerstand.**

Verfolgt man das Barometer durch den Lauf eines ganzen Jahres, so bemerkt man, daß es in den Wintermonaten viel höher steht, als in den Sommermonaten. In den höhern Breiten, außerhalb der Tropen, zeigt der

Barometerstand zwei Maxima, im Januar oder Februar und September oder October, von denen aber das erstere viel stärker ausgeprägt ist, als das letztere; die Minima treten in den Sommermonaten und im November ein, in den ersteren wieder viel deutlicher, als in dem letztgenannten Monat, wie sich aus der nebenstehenden Curve (Fig. 127.), welche für Halle gilt, ersehen läßt.

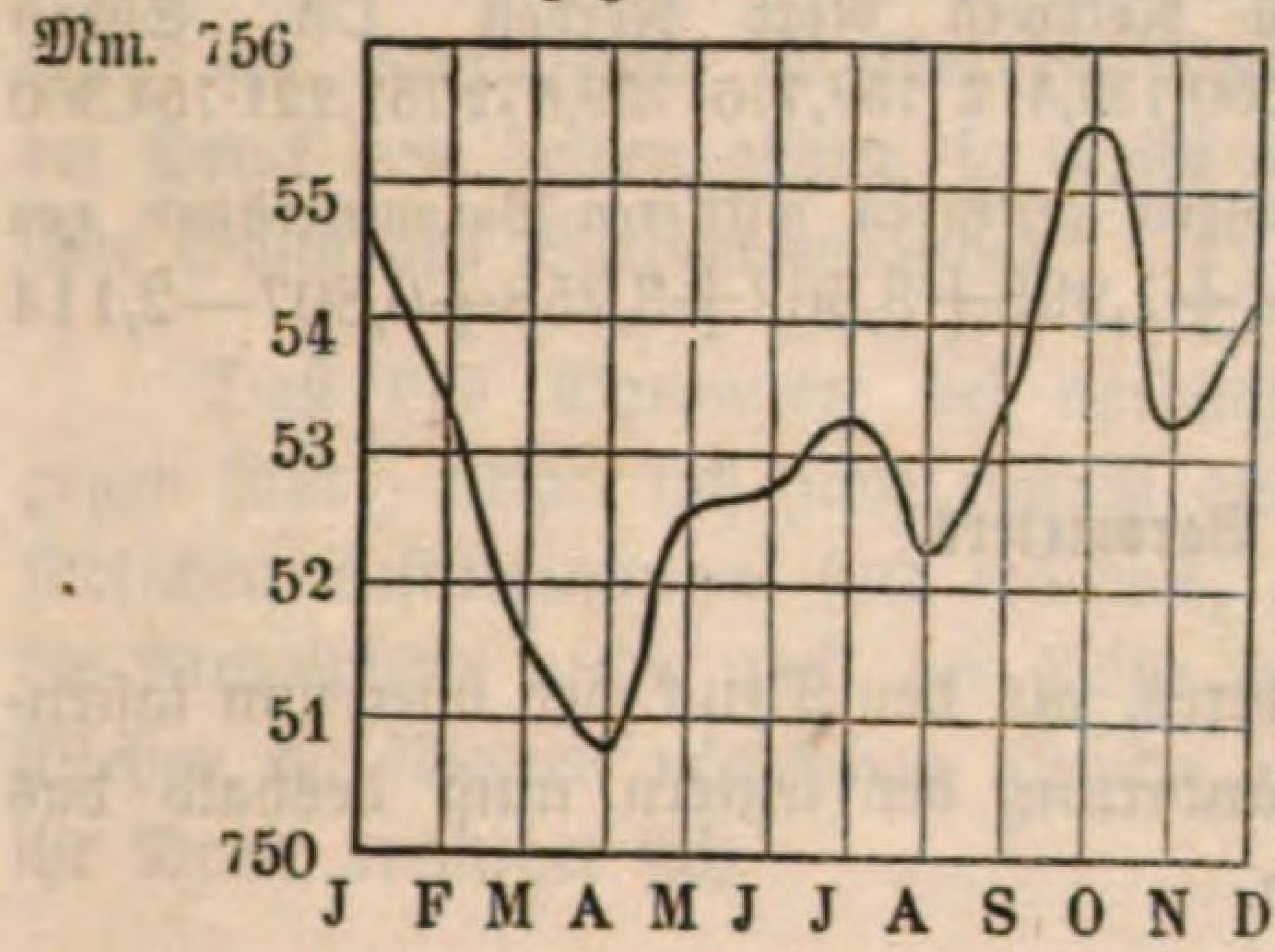


Fig. 127.

Die Amplitude der jährlichen Schwankung wächst vom Aequator nach dem Pol hin, die Amplitude des Sommers ist kleiner, als die des Winters.

Mittlere Amplitude der Barometerschwankungen.

	Winter	Sommer
Batavia	2,80 Mm.	2,71 Mm.
Rom	22,92 „	9,93 „
Wien	26,78 „	13,02 „
Paris	30,45 „	17,17 „
Berlin	33,07 „	17,33 „
London	35,15 „	20,32 „
Abo	37,20 „	19,76 „

Der jährliche mittlere Barometerstand ist unter dem Aequator am kleinsten, er nimmt bis zu 30°—40° Breite zu und dann wieder noch bis etwa 70° Breite ab. Vielleicht steigt er nun gegen den Pol hin, doch liegen noch nicht genug Beobachtungen vor, um diese Vermuthung zur Gewißheit zu machen.

		Mittlerer Barometerstand
Unter dem Aequator		758 Mmeter
30° — 40° Breite		762 bis 764 „
50° „		760 „
56° „		758 „
64° „	(Reikiavig)	752 „
15° „	(Insel Melville)	758 „

d. **Barometerstand bei den verschiedenen Winden.**

Beobachtet man neben dem Stand des Barometers zugleich die Windrichtung, so nimmt man bald einen auffallenden Zusammenhang zwischen beiden wahr; das Barometer steigt nämlich bei Nord-, Nordost-, Nordwest-

und Ostwind, es fällt bei Süd, Südwest, und Südost, wie die folgenden Beobachtungen, welche zu Paris angestellt wurden, zeigen.

Windrichtung	Süd	Südwest	West	Nordwest	Nord	Nordost	Ost	Südost
Mittl. Barometerstand	752,757	753,227	755,950	758,412	759,776	759,672	757,221	754,300
Unterschied zwischen dem für alle Richtungen geltenden mittleren Barometerstand von 756,414 Mm.	—3,657	—3,187	—0,464	+1,998	+3,362	+3,258	+0,807	—2,114

4. Ursachen der Schwankungen des Barometers.

Das Barometer gibt nichts Anderes, als den Druck der über ihm lastenden Atmosphäre. Jede Gewichtsveränderung der letztern muß deshalb das Barometer steigen oder sinken machen.

Unter den Ursachen, von welchen der Stand des Barometers abhängt, nehmen die Wärme und die Feuchtigkeit die erste Stelle ein.

Durch die Wärme wird die Luft ausgedehnt, die verticale Höhe der Atmosphäre nimmt zu; dies hat aber zur Folge, daß die erwärmte Luft seitlich abfließt. Es bleibt also an der Stelle, wo die Temperaturerhöhung stattfand, eine Luftmasse von geringerem Gewichte zurück, das Barometer wird hier sinken.

In der That lehrt die Beobachtung, daß die Werthe des Barometer- und Thermometerstandes einander gewöhnlich entgegengesetzt sind; wenn also z. B. das Barometer steigt, so fällt das Thermometer.

Denken wir uns die Luft von ihrem Wasserdampfgehalt befreit, so müßte, nach dem eben Gesagten, der Stand des Barometers den entgegengesetzten Gang von dem des Thermometers einhalten. Wenn wir dagegen bei dem Barometer im Laufe des Tages nicht ein Maximum und Minimum, wie beim Thermometer, sondern deren zweie wahrnehmen, so kann diese Anomalie nur von dem Wasserdampfgehalt herrühren. Dieser zeigt in der That im Sommer ein zweimaliges Steigen und Fallen im Laufe eines Tages, gerade so wie wir es beim Barometer beobachten.

Die Veränderungen im Drucke des Wasserdampfs überwiegen also die Veränderungen im Druck der trockenen Luft.

Im Winter tritt das Minimum der absoluten Feuchtigkeit bei Sonnenaufgang, das Maximum zur Zeit der größten Tageswärme ein, während der Druck der trockenen Luft gerade zu den entgegengesetzten Tageszeiten seinen kleinsten und größten Werth erreichen müßte. Aus der Combination des Druckes von Wasserdampf und trockner Luft gehen hier zwei tägliche Maxima und Minima hervor, so daß der Gang des Barometers im Winter sich im Wesentlichen nicht von dem im Sommer unterscheidet.

Was den Wechsel des Barometerstandes durch das ganze Jahr hin anlangt, so erklärt er sich in analoger Weise. Der Druck der trocknen Luft ist im Sommer kleiner, als im Winter, der Druck der absoluten Feuchtigkeit der Atmosphäre ist aber im Sommer größer, als im Winter. Wird der Druck von beiden addirt, so ergibt sich der unter c dargestellte eigenthümliche Gang des Barometerstandes.

Daß das Barometer bei nördlichen Winden steigt, bei südlichen dagegen fällt, erklärt sich ganz einfach aus der Temperatur dieser Winde. Die südlichen Luftströmungen sind wärmer, als die nördlichen, es wird bei ihnen die Atmosphäre mehr nach der Höhe hin ausgedehnt und fließt seitlich ab. Wehen die kälteren nördlichen Winde, so strömt die Luft von oben zu und ihr Druck vermehrt sich.

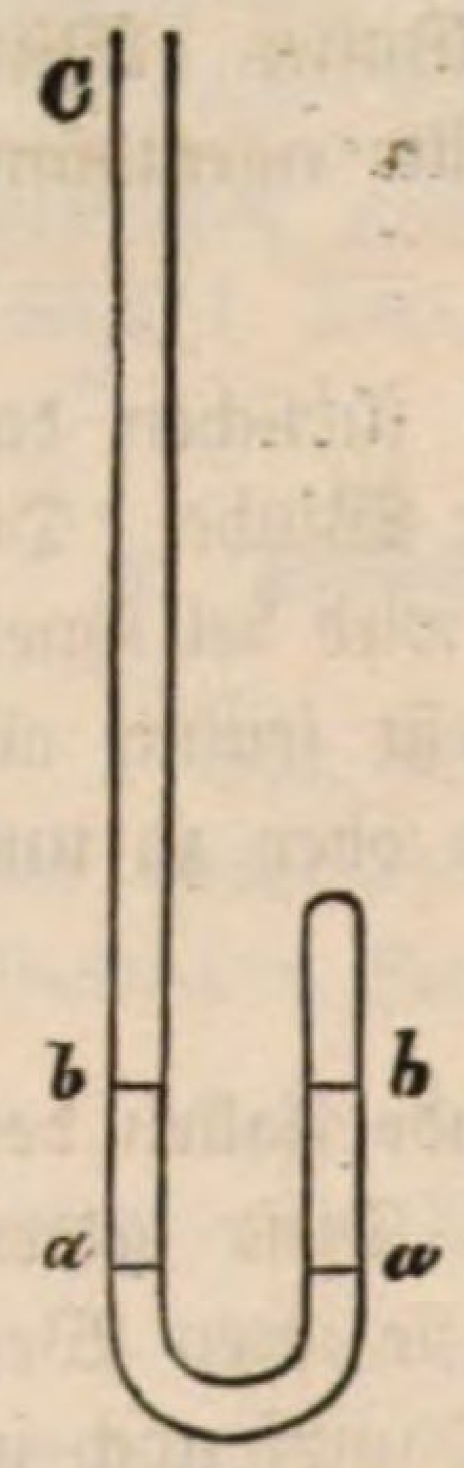
Noch ein Umstand ist es aber, dem man das bedeutende Fallen des Barometers bei Süd- und Südwestwind zuzuschreiben hat. Diese beiden Winde enthalten nämlich vorzugsweise viel Feuchtigkeit, weil sie ihren Weg über größere Wasserflächen genommen haben. So lange der Dampf noch in expandirtem Zustand in der Luft schwebt, vermehrt er die Spannkraft der letztern; sie läßt aber nach, wenn er in tropfbar flüssigen Zustand übergeht, denn der Dampf nimmt, nachdem er sich condensirt hat, einen viel kleineren Raum ein. Der Süd- und Südwestwind entledigen sich auf ihrem Wege nach höheren Breiten fortwährend ihres Dampfgehaltes; mit jedem Regengusse, den sie bringen, muß daher das Barometer sinken.

5. Barometrische Höhenmessung.

Das Barometer gibt den Druck der Luftsäule an, welche über dem Spiegel des Quecksilbers in der Röhre lastet. Da die Länge dieser Luftsäule mit der Erhebung über die Meeresfläche abnimmt, so muß demnach der Barometerstand sinken, wenn das Instrument von einem tiefer gelegenen nach einem höhern Puncte gebracht wird. Dieser Schluß bestimmte schon Pascal, das Barometer zum Höhenmessen zu benutzen. Zu diesem Zweck muß man aber zuerst das Gesetz aufsuchen, nach welchem der Barometerstand mit zunehmender Erhebung über die Meeresfläche sich erniedrigt. Daß nämlich das Fallen der Quecksilbersäule für gleiche Höhenintervalle nicht das nämliche sein werde, läßt sich leicht einsehen, weil die Dichte und somit auch das Gewicht der Luft von unten nach oben hin sich nicht gleichbleibt, sondern fortwährend abnimmt. In welchem Maße vermindert sich aber das Gewicht der Luft in der Höhe? Um diese Untersuchung vorzunehmen, müssen wir zuerst das Mariotte'sche Gesetz entwickeln.

a) Mariotte'sches Gesetz.

Fig. 128.



Wenn man in eine gebogene Glasröhre (Fig. 128.), deren kürzerer Schenkel geschlossen, deren längerer Schenkel offen ist, etwas Quecksilber schüttet und dann die Röhre so neigt, daß etwas Luft aus dem kürzern Schenkel in den längern übertritt, so kann man es dahin bringen, daß das Quecksilber in beiden Schenkeln bei a gleich hoch steht. Die Luft in dem kürzern Schenkel ist also jetzt blos dem Druck der Atmosphäre ausgesetzt. Schüttet man nun weiter Quecksilber zu, so zieht sich die Luft in dem kleinern Schenkel auf ein geringeres Volumen zurück. Beobachtet man den Quecksilberstand in dem längern Schenkel, nachdem die Luft in dem kürzern bis b, also auf die Hälfte ihres ursprünglichen Raumes zurückgedrängt worden ist, so wird man finden, daß die Höhe bC der Quecksilbersäule gleich dem eben herrschenden Barometerstande, also z. B. = 760 Mm. geworden ist. Unter dem Drucke von zwei Atmosphären nimmt also die Luft nur noch die Hälfte ihres Volumens ein. Fährt man mit dem Zugießen von Quecksilber fort, so ergibt sich, daß unter dem Druck von 3, 4, 5 ...... Atmosphären des Volumen der in dem kürzern Schenkel eingeschlossenen Luft nur noch $^1/_3$, $^1/_4$, $^1/_5$ .... des ursprünglichen beträgt.

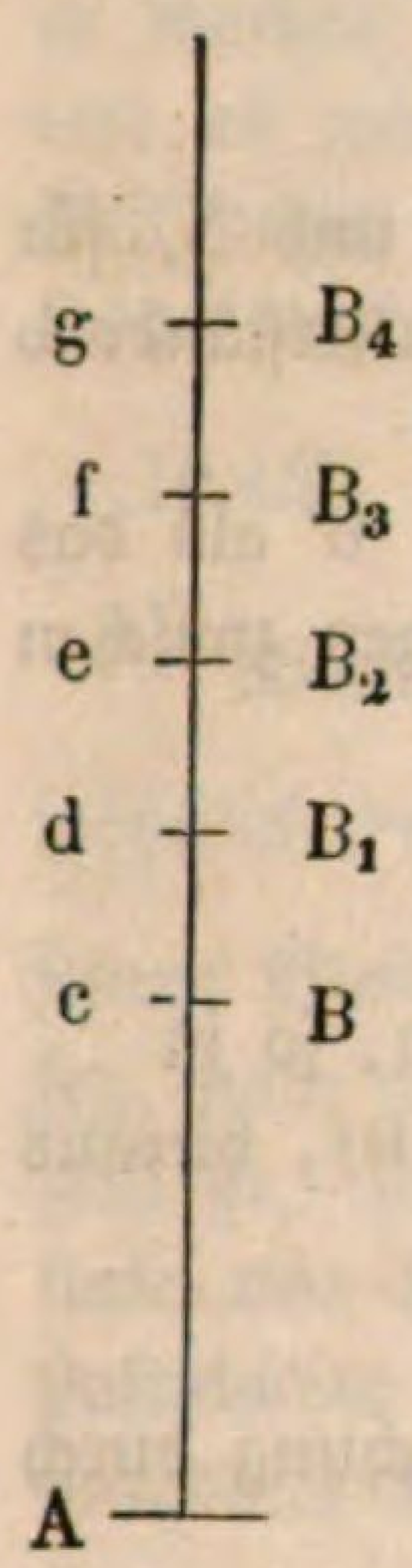
Hieraus folgt das Gesetz: die Volumsverminderung einer comprimirten Luftmasse ist dem Drucke, welcher auf ihr lastet, proportional.

Untersuchen wir jetzt die Dichte oder das Gewicht der comprimirten Luft. Nennen wir das Gewicht eines Raumtheiles, z. B. $\frac{1}{n}$, der unter dem Drucke von 1 Atmosphäre stehenden Luft g, so wird der nämliche Raumtheil unter dem Drucke von 2, 3, 4 ..... Atmosphären 2g, 3g, 4g .... wiegen, denn er enthält ja jetzt 2mal, 3mal, 4mal ..... so viel Luft, als bei 1 Atmosphärendruck. Es geht also hieraus hervor, daß die Dichte, oder das Gewicht eines gleichen Raumtheils Luft dem auf ihr lastenden Drucke proportional ist.

b) Wenn die verticale Erhebung über irgend einen Punct der Atmosphäre in arithmetischem Verhältnisse zunimmt, so nehmen die Barometerstände in geometrischem Verhältnisse ab. Beweis.

Es sei A (Fig. 129.) ein Punct auf der Erdoberfläche, c ein solcher

Fig. 129.



in der Höhe; die Puncte d, e, f . . . . stehen alle um die Größe h von einander ab. Die Barometerstände in c, d, e, f, g . . . . seien B, B_1, B_2, B_3, B_4 . . . . .

Obgleich die Dichte der Luft von unten nach oben abnimmt, so können wir doch die Dichte derselben innerhalb jeder einzelnen Schichte, z. B. innerhalb cd als gleichbleibend annehmen, wenn wir nur h einen gehörig kleinen Werth geben. Nun ist

der Luftschichte	cd	de	ef	fg	. . . .
Gewicht	$B-B_1$	B_1-B_2	B_2-B_3	B_3-B_4	. . . . .

Aus dem Mariotte'schen Gesetz folgt:

$B-B_1 : B_1-B_2 = B_1 : B_2$; hieraus

$BB_2 - B_1B_2 = B_1{}^2 - B_1B_2$,

$BB_2 = B_1{}^2$.

$$B_2 = \frac{B_1{}^2}{B}$$

Ferner ist nach dem nämlichen Gesetz

$B_1 - B_2 : B_2 - B_3 = B_2 : B_3$; hieraus

$B_3 = \frac{B_2{}^2}{B_1}$, und, wenn man für B_2 seinen eben gefundenen Werth setzt,

$$= \frac{B_1{}^3}{B^2}$$

Ebenso findet man

$$B_4 = \frac{B_1{}^4}{B^3}\ ;\ B_5 = \frac{B_1{}^5}{B^4}\ \ldots\ldots$$

Es ist also

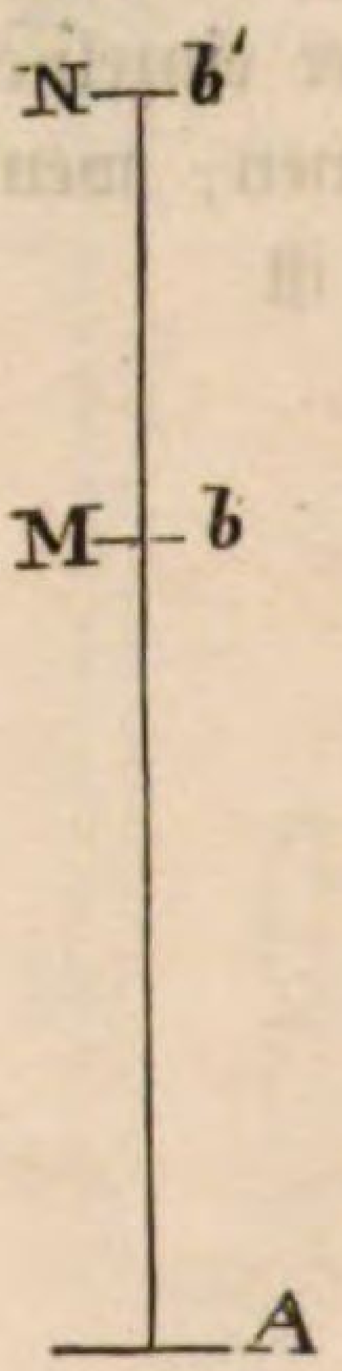
für die Höhe	Ac	Ac+h	Ac+2h	Ac+3h	Ac+4h	. . . .
der Barometerstand	B	B_1	$\frac{B_1{}^2}{B}$	$\frac{B_1{}^3}{B^2}$	$\frac{B_1{}^4}{B^3}$	. . . . .
oder auch	B	B_1	$B_1\left(\frac{B_1}{B}\right)$	$B_1\left(\frac{B_1}{B}\right)^2$	$B_1\left(\frac{B_1}{B}\right)^3$	. . . .

Wir sehen also, daß die Barometerstände in einer geometrischen Reihe abnehmen, wenn die Höhen in einer arithmetischen Reihe wachsen, wodurch unser obiger Satz erwiesen ist.

Der Quotient jener fallenden geometrischen Reihe ist $\frac{B_1}{B}$, und wir erhalten das nte Glied der Reihe, welches um (n—1) h von dem ersten Glied absteht, wenn wir dieses mit $\left(\frac{B_1}{B}\right)^{n-1}$ multipliziren.

c) Ableitung einer Formel für die barometrische Höhenmessung.

Fig. 130.



Es sei der Höheabstand der beiden Punkte M und N, für welche man durch wirkliche Beobachtung die Barometerstände b und b' gefunden habe, zu bestimmen. (Fig. 130.)

Sehen wir zu diesem Zwecke b als das erste, b' als das nte Glied einer Reihe an, so werden nach dem Obigen zwischen M und N gerade (n—1) h liegen. Nun ist

$$b' = b \left(\frac{B_1}{B}\right)^{n-1}$$

Nehmen wir auf beiden Seiten die Logarithmen, so ist

$\log. b' = \log. b + (n-1)\ (\log. B_1 - \log. B)$, hieraus

$$n-1 = \frac{\log. b' - \log. b}{\log. B_1 - \log. B}$$

Multipliziren wir die beiden Glieder dieser Gleichung durch $h = h$ so ist

$$(n-1)\ h = \frac{\log. b' - \log. b}{\log. B_1 - \log. B}\ h$$

Es stellt aber (n—1) h die gesuchte Höhe MN vor, weil zufolge unserer vorherigen Annahme n—1 Luftschichten, jede von der Dicke h, zwischen M und N liegen. Es ist also auch

$$MN = \frac{\log. b' - \log. b}{\log. B_1 - \log. B}\ h = \frac{\log. b - \log. b'}{\log. B - \log. B_1}$$

In dieser Gleichung sind b' und b durch die Beobachtung gegeben, h bedeutet eine Höhe, um welche man sich erheben muß, damit der Barometerstand B in B_1 übergehe. Da der Ausdruck $\frac{h}{\log. B - \log. B_1}$ in der obigen Formel constant ist, also bei jeder barometrischen Höhenmessung gebraucht wird, so kann man ihn ein für alle Mal berechnen.

Nun hat man gefunden, daß man sich am Meere, wo der Barometerstand = 760 Mmeter beträgt, um 10,467 Meter erheben muß, damit das Barometer um 1 Mm. sinkt. Es ist also h = 10467 Mm.; und B = 760 Mm.; $B_1 = 759$ Mm. und

$$\frac{h}{\log. B - \log. B_1} = \frac{10467}{0{,}0005718} = 18305 \text{ Meter und}$$

$$MN = 18305\ (\log. b - \log. b')$$

d) Correctur der berechneten Höhe wegen der Temperatur und dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft.

Nur dann, wenn die Temperatur der Luft 0° beträgt, reicht eine

Erhebung von 10,467 Metern hin, um das Barometer um 1 Mm. fallen zu machen. Hat die Luft eine höhere Temperatur, so ist sie auch leichter, und es wird dann h einen größern Werth, als 10,467 M. annehmen. Die Luft dehnt sich für 1^0 um $\frac{1}{273}$ ihrer Länge aus; eine Luftsäule von 10,467 M. Höhe wird demnach bei einer Temperatur von τ^0 eine Höhe von

$$10{,}467\left(1+\frac{\tau}{273}\right) \text{ erlangen.}$$

Nimmt die Temperatur der Luft von M nach N hin ab, wie dies gewöhnlich der Fall ist, so ändert der Quotient $\frac{h}{\log. B - \log B_1}$ fortwährend seinen Werth. Um diese Aenderung in Rechnung zu ziehen, müßte das Gesetz, nach welchem sie erfolgt, bekannt sein. Da dies aber bis jetzt nicht der Fall ist, so hilft man sich in der Weise, daß man annimmt die Wärme sinke von M nach N gleichmäßig und es halte die Temperatur der ganzen Luftschichte MN das Mittel aus den Temperaturen t und t' der Beobachtungsorte M und N. Wir erhalten unter dieser Voraussetzung die Höhe

$$MN = \frac{10467}{0{,}0005718}\left(1+\tfrac{1}{2}\,\frac{(t+t')}{273}\right)(\log. b - \log. b') =$$

$$MN = 18306\left(\frac{546+t+t'}{546}\right)(\log. b - \log. b') =$$

$$MN = 33{,}526\,(546+t+t')\,(\log. b - \log. b')$$

Nun wäre auch noch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft in Anschlag zu bringen, indem die Größe von h wechselt, je nachdem die Luft mehr oder weniger Wasserdampf enthält. Da aber die Feuchtigkeit nicht so regelmäßig mit der Höhe zu- oder abnimmt, als wir dies bei der Wärme unterstellen konnten, so ist ihr Einfluß auch nicht wohl anders in Rechnung einzuführen als daß man den Coefficienten 33,526 nach Maßgabe der Beobachtungen modifizirt, welche man bei der barometrischen Messung von geometrisch bestimmten Höhen gemacht hat. Nach den Untersuchungen von Gauß u. A. ist der Coefficient 33,526 mit Rücksicht auf die Luftfeuchtigkeit in 33,666 umzuändern, und es lautet nun unsere Formel

$$MN = 33{,}666\,(546+t+t')\,(\log. b - \log. b')$$

e) Correctur der beobachteten Barometerstände wegen der Ausdehnung der Scala und des Quecksilbers.

Die beobachteten Barometerstände b und b' bedürfen einer Correctur wegen der Ausdehnung der Scala und des Quecksilbers. Es ist unter 2 gezeigt worden, wie man diese Verbesserungen ausführt. Um die Rechnung zu erleichtern, hat man Tabellen (S. 304) entworfen, aus welchem die beiden Correcturen zusammen in einem Ansatze sich entnehmen lassen.

Barometerstand.	Correctur für die Temperatur von								
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
600	0,097	0,194	0,290	0,387	0,484	0,581	0,678	0,775	0,872
05	0,098	0,195	0,293	0,391	0,488	0,586	0,683	0,781	0,879
10	0,098	0,197	0,295	0,394	0,492	0,591	0,689	0,788	0,886
15	0,099	0,198	0,298	0,397	0,496	0,596	0,695	0,794	0,893
20	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,901
25	0,101	0,202	0,303	0,403	0,504	0,605	0,706	0,807	0,908
30	0,102	0,203	0,305	0,407	0,508	0,610	0,712	0,813	0,91[illegible]
35	0,102	0'205	0,307	0,410	0,512	0,615	0,717	0,820	0,922
40	0,103	0,207	0,310	0,413	0,516	0,620	0,723	8,826	0,930
45	0,104	0,208	0,312	0,416	0,520	0,625	0,729	0,833	0,937
50	0,105	0,210	0,315	0,420	0,524	0,629	0,734	0,839	0,944
55	0,106	0,211	0,317	0,423	0,529	0,634	0,740	0,846	0,951
60	0,106	0,213	0,320	0,426	0,533	0,639	0,746	0,852	0,959
65	0,107	0,215	0,322	0,429	0,537	0,644	0,751	0,859	0,966
70	0,108	0,216	0,324	0,433	0,541	0,649	0,757	0,865	0,973
75	0,109	0,218	0,327	0,436	0,545	0,654	0,763	0,871	0,980
80	0,110	0,219	0,329	0,439	0,549	0,658	0,768	0,878	0,988
85	0,111	0,221	0,332	0,442	0,553	0,663	0,774	0,884	0,995
90	0,111	0,223	0,334	0,445	0,557	0,668	0,780	0,891	1,002
95	0,112	0,223	0,336	0,449	0,561	0,673	0,785	0,897	1,010
700	0,113	0,226	0,339	0,452	0,565	0,678	0,791	0,904	1,017
05	0,113	0,228	0,341	0,455	0,569	0,683	0,797	0,910	1,024
10	0,115	0,229	0,344	0,458	0,573	0,688	0,802	0,917	1,031
15	0,115	0,231	0,346	0,462	0,577	0,691	0,808	0,923	1,039
20	0,116	0,232	0,349	0,465	0,581	0,697	0,813	0,930	1,046
25	0,117	0,234	0,351	0,468	0,585	0,702	0,819	0,936	1,053
30	0,118	0,236	0,353	0,471	0,589	0,707	0,825	0,943	1,060
35	0,119	0,237	0,356	0,474	0,593	0,712	0,830	0,949	1,068
40	0,119	0,239	0,358	0,478	0,597	0,717	0,836	0,955	1,075
45	0,120	0,240	0,361	0,481	0,601	0,721	0,842	0,962	1,082
50	0,121	0,242	0,363	0,484	0,605	0,726	0,847	0,968	1,089
55	0,121	0,244	0,365	0,487	0,609	0,731	0,853	0,975	1,097
60	0,123	0,245	0,368	0,491	0,613	0,736	0,859	0,981	1,104
65	0,124	0,247	0,370	0,494	0,617	0,741	0,864	0,988	1,111
70	0,124	0,249	0,373	0,497	0,621	0,746	0,870	0,994	1,118
75	0,125	0,250	0,375	0,500	0,625	0,750	0,876	1,001	1,126
80	0,126	0,252	0,378	0,504	0,629	0,755	0,881	1,007	1,133
85	0,127	0,253	0,380	0,507	0,633	0,760	0,888	1,014	1,140
90	0,127	0,255	0,382	0,510	0,637	0,765	0,893	1,020	1,148
95	0,128	0,257	0,385	0,513	0,641	0,770	0,898	1,026	1,155
800	0,129	0,258	0,387	0,516	0,646	0,775	0,904	1,033	1,162

Die Anwendung dieser Tabelle wird sich am besten durch ein Beispiel zeigen lassen.

Zu Gießen wurde am 13. Mai ein Barometerstand von 747,5 Mmetern beobachtet. Die Temperatur des Quecksilbers im Barometer und der messingenen Scala gab ein am Instrument befindliches Thermometer zu 18°,6 an. Es wäre also, wenn wir die Länge der Scala auf die Temperatur von 0° reduziren, der Barometerstand

$$\frac{54000+18,6}{54000} \cdot 747,5 = \frac{54018,6}{54000} \cdot 747,5 = 747,758$$

Reduziren wir jetzt die Länge der Quecksilbersäule auf die Temperatur von 0°, so ist

$$\frac{5550}{5550+18,6} \cdot 747,758 = \frac{5550}{5568,6} \cdot 747,758 = 745,26.$$

Führen wir nun die beiden Correcturen auf einmal mit Hülfe unserer Tabelle aus. Dazu suchen wir zuerst in der mit „Barometerstand" überschriebenen Vertikalspalte 747 auf, und nehmen, weil diese Zahl sich nicht findet, die zunächstliegende 745. Dann fahren wir in der Horizontalspalte, deren erstes Glied 745 bildet, fort und nehmen die Correctur für 1°. Diese beträgt 0,120; diese Zahl multiplizиren wir mit 10, um vorerst die Correctur für 10° zu erhalten.

Letztere beträgt also	1,200
In der nämlichen Spalte finden wir die Correctur für 8° .	0,962
und für 0°,6=0,721 . 0,1 = ...	0,072
Die Gesammtverbesserung für 18°,6 beträgt also .	2,234

Diese ziehen wir von dem beobachteten Barometerstand = 747,5 Mmeter ab und erhalten dann den corrigirten Barometerstand 747,5—2,234=745,266. Die kleine Differenz von 0,006 rührt daher, weil wir in unserer Tafel für 747,5 geradezu 745 haben gelten lassen, während, um ganz genau zu verfahren, die Werthe für 747,5 mittelst Interpolation zwischen 745 und 750 hätten gesucht werden müssen.

Liegt die beobachtete Temperatur unter 0°, so muß, wenn man sich der Hülfstabelle bedient, die Correctur nicht subtrahirt, sondern addirt werden.

f) Beispiel einer barometrischen Höhenmessung.

Um ein Beispiel von der Anwendung unserer Formel zu geben, wollen wir den Höhenunterschied zwischen Gießen und der Spitze des drei Stunden von dieser Stadt liegenden Dünsberges berechnen.

Am 13. Mai beobachtete man

den Stand des Barometers zu Gießen . .	b	= 747,5 Mm.
„ „ „ „ auf dem Dünsberg	b′	= 717,0 „

die Temperatur der Scala und des Quecksilbers im Barometer
Gießen . . . $T = 18^0,6$
Dünsberg . . $T' = 15^0,2$
die Temperatur der Luft zu Gießen . . . $t = 18^0,3$
„ „ „ „ auf dem Dünsberg . $t' = 14^0,8$

Wir reduziren zuerst den Stand der Scala und des Quecksilbers im Barometer auf die Temperatur von 0°. Für die Station Gießen ist dies bereits oben geschehen, wir fanden . . $b = 745,266$ Mm.

Für den Barometerstand der Station Dünsberg beträgt die Correctur:

für 10°	1,150
„ 5°	0,577
„ 0°,2	0,023
Zusammen	1,750

Daher corrigirter Barometerstand $= 717,0-1,750 = 715,250$ Mm.

Es ist also der gesuchte Höhenunterschied

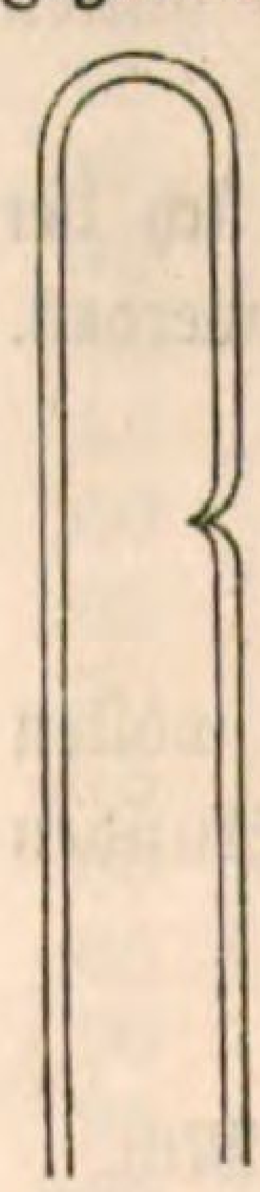
$$MN = 33,666\ (546+14,8+18,3)\ (\log.\ 745,266 - \log.\ 715,250) =$$
$$= 33,666 .\ 579,1\ (\log.\ 745,266 - \log.\ 715,250)$$ und
$$\log.\ MN = \log.\ 33,666 + \log.\ 579,1 + \log.\ (\log.\ 745,266 - \log.\ 715,250)$$
$$= 2,5416660,$$ also
$$MN = 349$$ Meter.

g) Einrichtung der zur Höhenmessung bestimmten Barometer.

Von den verschiedenen Barometersorten eignet sich allein das Heberbarometer zum Höhenmessen. Es muß nur noch eine Vorrichtung an demselben angebracht werden, um das Ausfließen des Quecksilbers aus dem offenen Schenkel beim Transport zu verhüten.

Gay-Lussac schmilzt zu dem Ende den kürzern Schenkel der Barometerröhre oben zu und läßt seitwärts (Fig. 131.) eine ganz feine Oeffnung, durch welche zwar die Luft eintreten, aber das Quecksilber nicht entweichen kann. Beim Transport kehrt man das Instrument um, so daß der kürzere Schenkel vollständig von Quecksilber erfüllt ist.

Fig. 131.



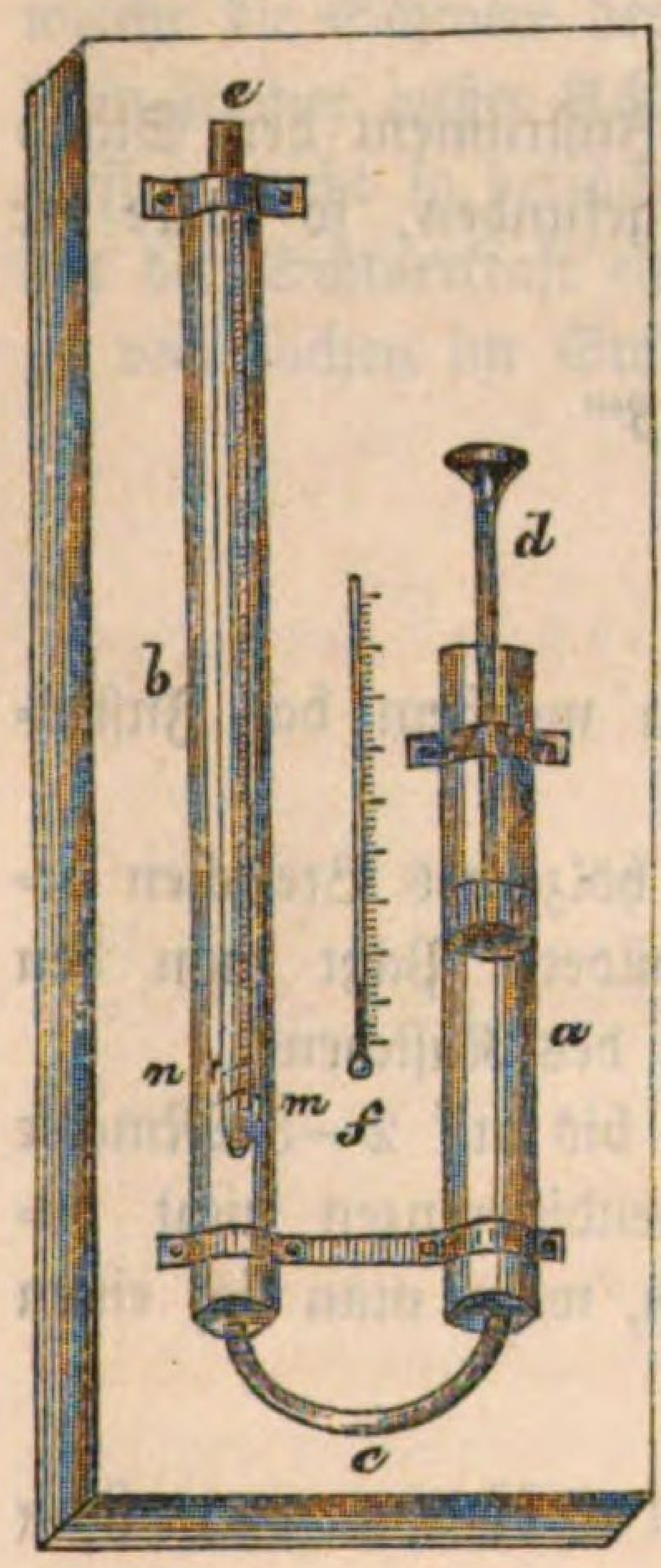
Eine andere Vorrichtung, welche gleichfalls sehr gute Dienste leistet, ist folgende. Die Röhre des kürzeren Schenkels besteht aus zwei Theilen, welche durch einen eisernen Würfel mit einander verbunden sind. Der Würfel ist zweifach durchbohrt, einmal in der Richtung der Barometerröhre (um die Communication der beiden Theile des kürzeren Schenkels herzustellen), zum andern senkrecht auf die vorige Richtung. In die letztere Oeffnung ist ein eiserner Hahn eingelassen. Will man das Barometer zum Trans-

port herrichten, so neigt man es, bis das Quecksilber den langen Schenkel erfüllt, und schließt dann den Hahn zu. Damit aber das Quecksilber noch etwas Spielraum habe, wenn es sich bei zunehmender Wärme ausdehnt, ist an dem Theile des Hahns, welcher sich innerhalb der Durchbohrung des Würfels befindet, ein Stück Kautschouk eingelassen.

Jedes gute Barometer enthält noch ein Thermometer, um die Temperatur der Scala und des Quecksilbers in der Barometerröhre zu bestimmen.

Das Ganze ist in eine Hülse von Holz gegeben, welche mit einem Deckel verschlossen werden kann.

Fig. 132.



Abgekürztes Barometer von Kopp. Dieses Instrument arbeitet nicht mit der Genauigkeit, wie das vorhin beschriebene Heberbarometer; dagegen hat es den Vorzug einer größern Transportabilität, weil es nur 0,3 Meter lang ist und sich mit seinem Gehäuse in eine Rocktasche stecken läßt.

Das Kopp'sche Barometer (Fig. 132.) besteht aus einer kürzern oder längern Glasröhre a und b, welche durch eine gebogene engere Röhre c von demselben Material verbunden sind. In die Röhre a paßt ein Kolben d; die Röhre b enthält immer noch eine engere Glasröhre e, welche 6 Centimeter von ihrem untern Ende mit einem Platindraht umwickelt ist, dessen eine Spitze m ein wenig tiefer, als die andere n steht. Die Röhre e ist graduirt. Zwischen a und b befindet sich ein kleines Thermometer f, welches noch + 50° und — 30° anzeigt.

Die Röhre c ist mit Quecksilber gefüllt; dieses ragt auch noch eine kleine Strecke mit in a und b hinein. Zieht man den Kolben d in die Höhe, so tritt das Quecksilber aus b gänzlich heraus und b füllt sich mittelst der Oeffnung bei e mit Luft. Drückt man jetzt den Kolben d wieder abwärts, so steigt das Quecksilber in b auf, wird aber durch den Druck der in der Röhre b eingeschlossenen Luft (die nicht entweichen kann, weil b oben fest verstopft ist) in die Röhre e hineingetrieben. Offenbar steigt das Quecksilber in e um so höher, je größer die Dichtigkeit der in b befindlichen Luft ist.

Um den Stand unseres Instrumentes auf denjenigen eines großen Barometers beziehen zu können, ist es durchaus nöthig, daß in der Röhre b bei jedem Versuch ein gleich großes Volumen Luft abgesperrt wird. Um diese Bedingung zu erfüllen, drückt man den Kolben so weit abwärts, bis der Spiegel des Quecksilbers in der Röhre b die Spitze m erreicht und liest dann die Höhe β des Quecksilberhubs an der Scala der Röhre e ab. Drückt man jetzt den Kolben nochmals etwas tiefer, so kommt das Quecksilber in der Röhre b

bis an die Spitze n zu stehen, gleichzeitig steigt es aber in e etwas höher als das erste Mal, nämlich bis β'. So gestattet also die Vorrichtung der zwei Spitzen, zwei sich controlirende Messungen kurz hinter einander vorzunehmen.

Die Reduction auf den mittelst eines großen Barometers beobachteten Barometerstand geschieht einfach in der Weise, daß man ein für alle Mal das Verhältniß von β und β' zu dem gleichzeitig stattfindenden wirklichen Barometerstand B feststellt. Es ist

$$\beta . c = B \text{ , } c = \frac{B}{\beta}$$

$$\beta' . c' = B \text{ , } c' = \frac{B}{\beta'}$$

Hätte man nun ein anderes Mal an dem Kopp'schen Instrument den Stand des Quecksilbers in der Röhre e gleich β'' und β''' gefunden, so wäre der wirkliche Barometerstand

$$B' = c\,\beta'' \text{ oder } c'\,\beta''' = \frac{B}{\beta}\,\beta'' \text{ oder } \frac{B}{\beta'}\,\beta'''$$

$$\text{und } B' = \left(\frac{B}{\beta}\beta'' + \frac{B}{\beta'}\,\beta'''\right) : 2$$

Die Coefficienten c und c' theilt der Mechanikus, von welchem das Instrument bezogen wird, mit.

Das Kopp'sche Barometer ist gewöhnlich auf ein hölzernes Brettchen befestigt, welches zugleich den Deckel eines Kästchens bildet. Paßt man den Deckel ein, so befindet sich der Glasapparat im Innern des Kästchens.

Da das abgekürzte Barometer den Luftdruck nur bis auf 2—3 Mmeter genau angibt, so ist es zur Bestimmung kleinerer Höhendifferenzen nicht anwendbar; größere lassen sich mit ihm nur dann ermitteln, wenn man sich einen Fehler von 20 bis 30 Metern gefallen lassen will.

h. Regeln für die zum Zweck der Höhenmessung anzustellenden barometrischen Beobachtungen.

Wir haben oben gesehen, daß der Stand des Barometers fortwährenden Schwankungen unterworfen ist. Soll die mittelst dieses Instrumentes abgeleitete Höhendifferenz zweier Orte ihrem wahren Werthe entsprechen, so ist es deßhalb nöthig, daß die Beobachtungen zu gleichen Tagesstunden angestellt werden. Steht aber nur ein Barometer zur Verfügung, so eile man sogleich von dem einen Orte zum andern und bringe, wenn der Unterschied zwischen den Beobachtungszeiten beträchtlich ist (z. B. mehrere Stunden beträgt), eine nach dem täglichen Gang des Barometers zu bemessende Correctur an der einen oder andern Beobachtung an.

Bei abnormen Witterungsverhältnissen z. B. bei starkem Wind, bei Gewittern, bei Hagel 2c. darf keine barometrische Höhenmessung vorgenommen werden, weil unter diesen Umständen die Schwere der über den beiden Beob-

achtungsorten lastenden Luftsäulen nicht blos von der Meereshöhe abhängt.

Das genaueste Resultat erhält man immer, wenn man den mittlern jährlichen Barometerstand der Rechnung zu Grunde legen kann.

Wenn blos eine oder nur wenige Beobachtungen angestellt werden können, dann dürfen die beiden Orte nicht weit von einander entfernt liegen, weil man sonst nicht darüber versichert sein kann, ob nicht zur Zeit der Beobachtung verschiedene Witterungsverhältnisse an den beiden Stationen geherrscht haben. Auch müßte dann unter Umständen die mit wachsender Polhöhe zunehmende Schwere der Luft in Rechnung gezogen werden. Die Verminderung, welche die Schwere der Luft mit der Erhebung über die Meeresfläche erfährt, kann immer außer Acht gelassen werden, weil die Höhendistanzen, welche wir messen, nicht so beträchtlich sind, daß die Vernachlässigung dieser Veränderlichkeit der Schwerkraft einen bemerkenswerthen Fehler im Resultate der Rechnung zu verursachen im Stande wäre.

Angewandter Theil.

Gegenseitiger Einfluß des Bodens und des Klima's einerseits und der Waldvegetation anderseits.

Erster Titel.

Wirkung der einzelnen Factoren des Bodens und des Klima's.

Zehntes Buch.

Einfluß der Atmosphäre auf die Waldvegetation.

Erster Abschnitt.

Von der Keimung.

Der Einfluß, den die Bestandtheile der Luft auf die Vegetation ausüben, macht sich schon bei der Keimung geltend. Man versteht unter dieser diejenige Entwicklung des Samens, welche die Entstehung einer neuen Pflanze zur Folge hat.

1. Bestandtheile des Samens.

Die Samen unserer Waldbäume enthalten sämmtlich die Anlage zu der neuen Pflanze, bestehend in dem Würzelchen (Radicula) und der Stammknospe (Plumula), welche aber häufig nicht deutlich ausgebildet ist und sich dann auf einen bloßen Vegetations-Punct reduzirt, wie es z. B. bei der Buche und Eiche der Fall ist, während die Plumula der Haselnuß schon Blätter, diejenige der Wallnuß schon einen Trieb mit Seitenknospen zeigt. Außer der Stammknospe und dem Würzelchen enthalten aber die Samen noch die sogenannten Samenlappen oder Cotyledonen, und diese füllen bei manchen Samen, wie z. B. der Eiche, Buche, Roßkastanie, Wallnuß rc. den größern Theil

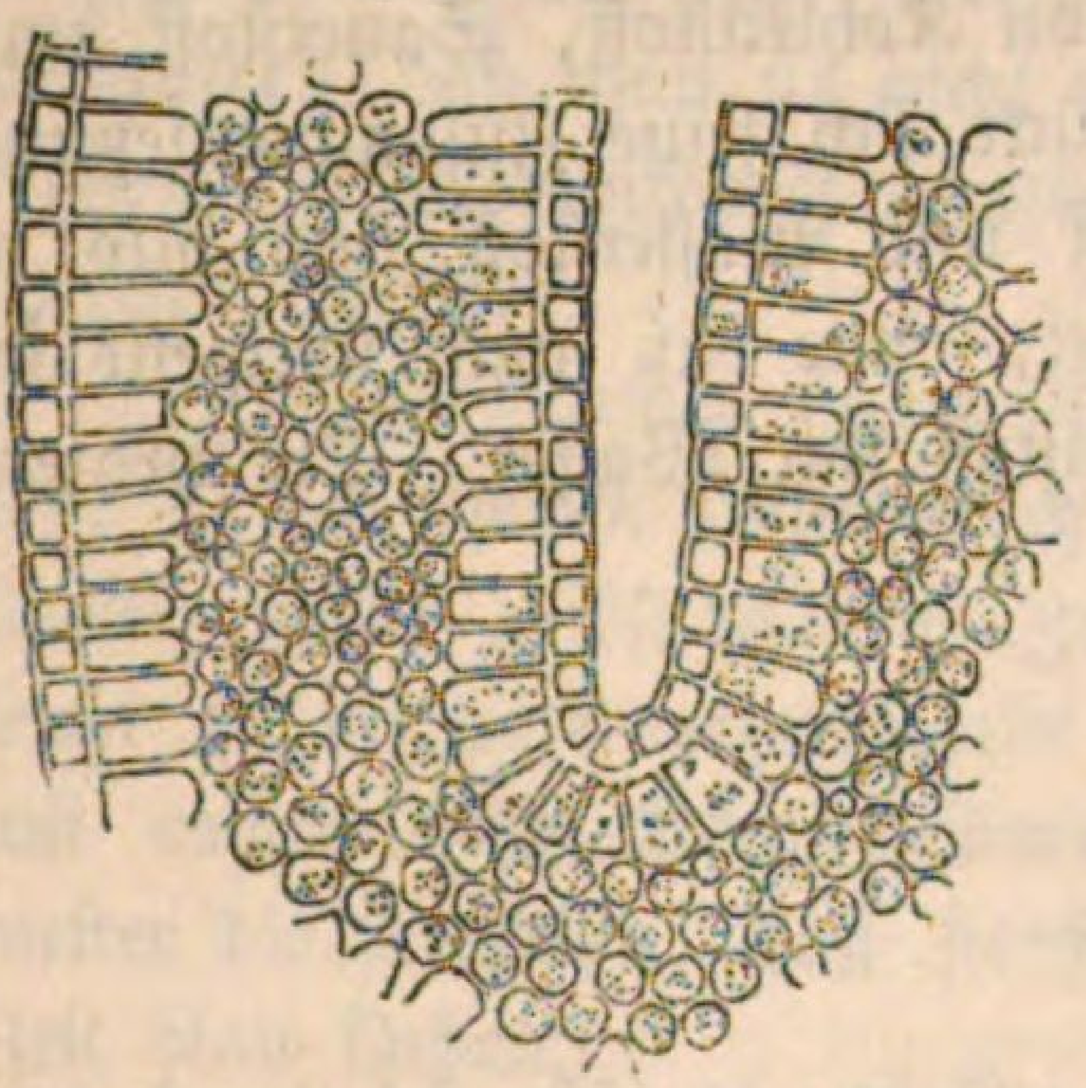
des Fruchtgehäuses aus. Alle Laubholzarten, sowie die Eibe, enthalten nur zwei Samenlappen, die übrigen Nadelhölzer dagegen deren mehrere, z. B. die Kiefer und Tanne 5—7, die Fichte 6—10.

Würzelchen, Stammknospe und Samenlappen sind bei manchen Samen noch einmal von einer weichen, weißen oder gelblichen Schichte, dem Sameneiweiß, umgeben, welches mit der Anlage zu dem neuen Pflänzchen durch die Spitzen der Samenlappen oder Keimblätter in Verbindung steht. Dieses Sameneiweiß oder Albumen besitzen die Nadelhölzer, das Getreide ꝛc.

Sowohl in der Radicula und Plumula, als auch ganz besonders in den Samenlappen und in dem Sameneiweiß hat die Natur alle diejenigen Stoffe niedergelegt, welche das junge Pflänzchen zu seiner ersten Entwicklung und so lange bedarf, bis es sich selbstständig ernähren kann. Diese Stoffe sind:

a. eine stickstofffreie Substanz — Stärkemehl (Amylon), Dextrin, oder in deren Vertretung ein Oel.
b. eine stickstoffhaltige Materie.

Fig. 133.



Das Stärkemehl kommt in größter Menge in den Samenlappen der nicht ölhaltigen Samen, z. B. in den Roßkastanien, Eicheln vor, ohne daß es in jenen ganz fehlte. Die Cotyledonen der Buche, von denen Fig. 133 ein kleines Stückchen bei 200 maliger Vergrößerung zeigt, enthalten eine nicht unbeträchtliche Menge Amylon; es ist hier in den Zellen zerstreut in kleinen Kügelchen enthalten, die in unserer Figur durch schwarze Pünctchen vorgestellt sind. Im Würzelchen der Buchel dagegen nimmt das Stärkemehl nur einige genau begrenzte Zellenschichten ein. Fig. 134 zeigt einen Schnitt durch die Radicula, parallel der Axe, bei 20facher Vergrößerung, Fig. 135 einen Querschnitt nach der Linie AB,

Fig. 134.

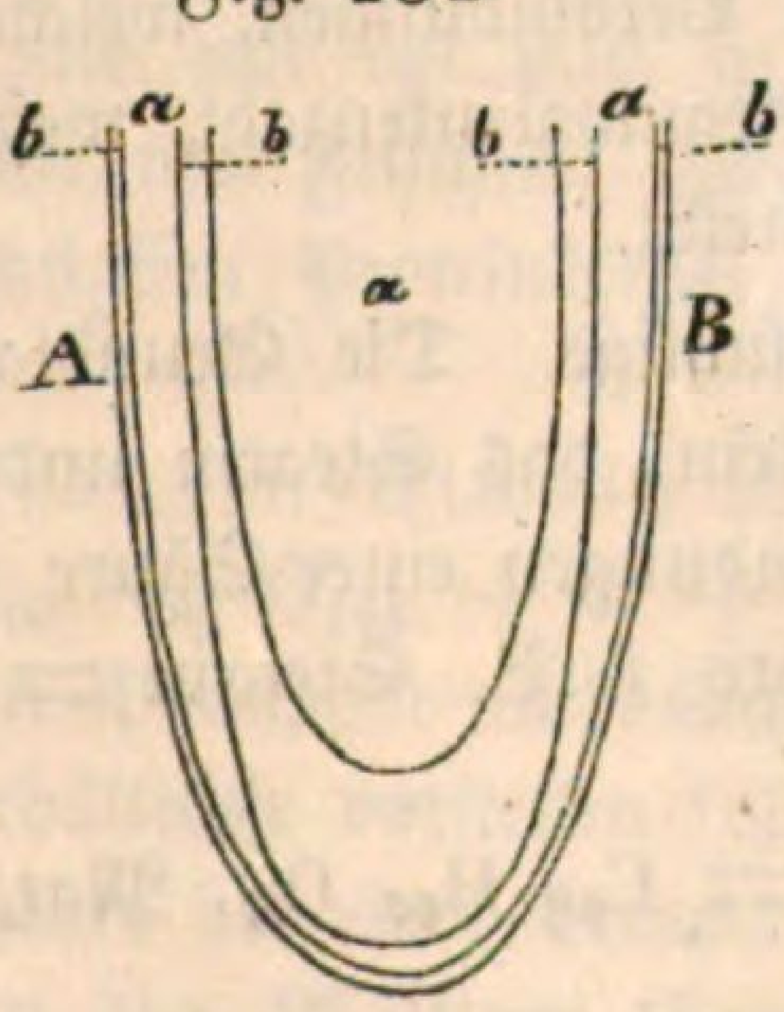


Fig. 135.

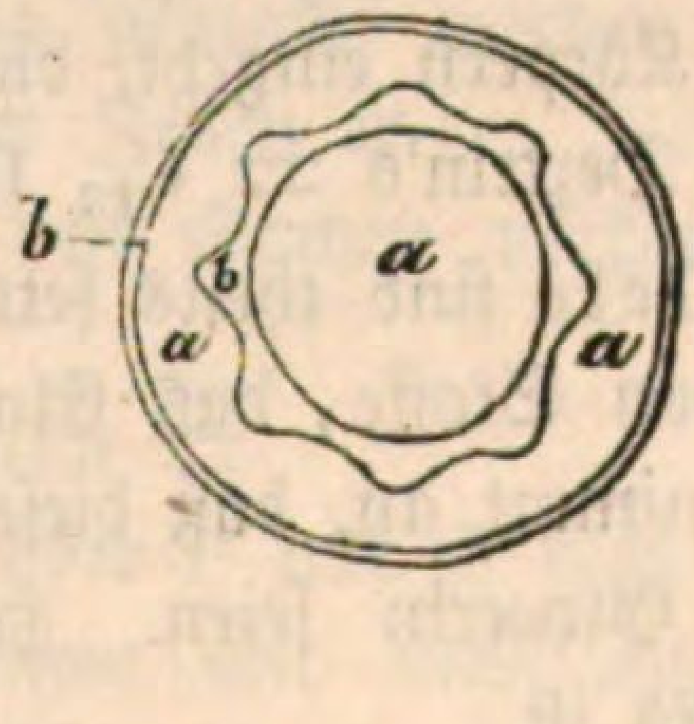


Fig. 136 einen Theil des letztern bei 200facher Vergrößerung. Zwei bis 4 Reihen beinahe viereckiger Zellen (b) am äußern Rande enthalten die Stickstoffmaterie, dann kommen viele fast kreisrunde Zellen a, in welchen sich Stärkemehl befindet (c zeigt eine solche Zelle mit Stärkemehlkörnern, stärker vergrößert). Hierauf folgen die viel kleinern sogenannten Cambiumzellen b, welche wieder mit stickstoffhaltiger Materie gefüllt sind und dann wieder Amylon- führende rundliche Zellen a, die sich bis zum Mittelpunkt erstrecken.

Fig. 136.



Die Formen, unter welchen das Stärkemehl in den Samen auftritt, sind überaus mannigfach. In der Buchel z. B. erscheint es in sehr kleinen Kügelchen, in der Roßkastanie dagegen in viel größern, meist birnförmigen Partikelchen, die aus concentrisch gelagerten Schichten zu bestehen scheinen.

Das Stärkemehl ist eine Verbindung von Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff. Nach Aequivalenten berechnet drückt sich seine Zusammensetzung durch die Formel $C_6\ H_5\ O_5$ aus. Sauerstoff und Wasserstoff sind also in ihm im Verhältniß zur Wasserbildung vereinigt, ohne daß man übrigens sagen könnte, es sei eine Verbindng von Kohlenstoff mit Wasser. Die prozentische Zusammensetzung ist:

Kohlenstoff	44,91
Wasserstoff	6,11
Sauerstoff	48,98
	100,00

Von Jod wird das Stärkemehl tiefblau gefärbt; es läßt sich durch dieses Reagens sehr leicht in den Pflanzen entdecken.

Das Dextrin schließt sich in seiner Zusammensetzung an das Stärkemehl an; der prozentische Gehalt an Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff ist genau der nämliche; dagegen zeigen die Verbindungen, welche das Dextrin mit andern Körpern eingeht, die doppelte Aequivalentenzahl, weßhalb man die Formel des Dextrin's $= C_{12}\ H_{10}\ O_{10}$ schreibt.

Die Oele sind theils fette, theils flüchtige. Die Grundlage von ersteren bilden drei Stoffe, das Elaïn oder Oleïn, das Stearin und das Margarin. Man nimmt an, daß dieselben Verbindungen einer Säure mit einer Basis — dem Glycerin seien. Hiernach wäre z. B. Stearin = stearinsaures Glycerin. Es ist

Elaïnsäure $= C_{44}\ H_{40}\ O_4$, Stearinsäure $= C_{68}\ H_{66}\ O_5$, Margarinsäure $= C_{68}\ H_{66}\ O_6$, Glycerin $= C_3\ H_4\ O$.

Die fetten Oele theilt man in trocknende und nicht trocknende. Zu erstern gehören das Fichten- und das Wallnußöl, zu letztern das Bucheckern- und das Haselnußöl.

Von den flüchtigen Oelen unterscheidet man sauerstofffreie und sauerstoffhaltige. Unter den sauerstofffreien Oelen, deren Zusammensetzung durch die Formel C_5 H_4 ausgedrückt ist, verdient ganz besonders das Terpenthinöl wegen seines häufigen Vorkommens genannt zu werden. Die Samen der Nadelhölzer verdanken ihren aromatischen Geruch hauptsächlich diesem Oel.

Das Oel ist, wie das Amylon, in Zellen eingeschlossen. Es tritt in diesen in um so größerer Menge auf, je mehr das Amylon fehlt. Die Zellen der Cotyledonen der Buchel sind ganz mit einem hellgelben Oel erfüllt, die Samen der Nadelhölzer mit einem mehr weißlichen Oel.

Die stickstoffhaltigen Materien, welche in den Samen vorkommen, gehören in die Gruppe der Proteïnkörper. Sie bestehen aus Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Schwefel und (häufig auch) Phosphor. Die beiden letztgenannten Elemente treten in ihnen nur in verhältnißmäßig geringen Quantitäten auf, sind aber mit den drei übrigen Bestandtheilen so fest verbunden, daß man sie nicht von ihnen trennen kann, ohne die Zusammensetzung der Proteïnkörper gänzlich aufzuheben. Es existirt also z. B. kein schwefelfreies Proteïn.

In den Samen finden sich die Proteïnkörper theils als eine körnige Materie in den Zellen (namentlich den an die Samenschale angrenzenden) abgelagert, theils gelöst in dem Zellsaft vor. Sie lassen sich in beiden Fällen leicht an der rosenrothen Farbe erkennen, welche sie annehmen, wenn man sie mit concentrirter Schwefelsäure und Zucker behandelt. Einige zeigen noch weiter die Reaction, daß sie sich in Berührung mit Salzsäure nach einiger Zeit blau färben.

Alle Proteïnkörper unterscheiden sich von den stickstofffreien Substanzen, welche wir vorhin aufgeführt haben, sehr wesentlich durch ihre complizirte Zusammensetzung; und es hängt von dieser wahrscheinlich die Fähigkeit der Proteïnkörper ab, sich sehr schnell zu zersetzen, wenn sie des Einflusses der Lebenskraft beraubt und mit der Luft in Verbindung gebracht werden (Verletzen der Samenschale von Früchten, Zerquetschen der Zellen 2c.)

Die wichtigsten Proteïnkörper, welche in den Samen vorkommen, sind folgende:

a. Das Pflanzen-Eiweiß oder Albumin =
C_{400} H_{310} N_{50} O_{120} + P + S, wobei aber P und S blos die Gegenwart von Phosphor und Schwefel anzeigen und nicht etwa Aequivalentenverhältnisse vorstellen sollen. Das Albumin ist löslich in Wasser, gerinnt aber bei einer Temperatur von ungefähr 70°. Es kommt vorzüglich in den ölhaltigen Samen vor.

b. Das Pflanzenkaseïn oder der Pflanzenkäsestoff unterscheidet sich von vorigem seiner chemischen Zusammensetzung nach nur durch das Fehlen des Phosphors. Das Casein ist gleichfalls in Wasser löslich; beim Erhitzen gerinnt die Auflösung aber nicht, sondern zieht nur eine Haut an der Oberfläche; durch die Schleimhaut des Kälbermagens wird es durchaus zum Gerinnen gebracht. Es findet sich neben Albumin in den ölhaltigen Samen z. B. den Haselnüssen, aber auch in den Samen der Leguminosen, z. B. der Robinien, der Besenpfrieme. Liebig wies nach, daß das früher als eine eigenthümliche Substanz unterschiedene Legumin mit dem Casein identisch sei.

c. Das Pflanzenfibrin hat die nämliche Formel, wie das Albumin, enthält aber etwas mehr Schwefel, als dieses. Es ist im Pflanzensaft blos unter dem Einfluß der Lebenskraft gelöst, scheidet sich aber sogleich in Form eines gelatinösen Niederschlags ab, wenn der betreffende Pflanzentheil zerstört, also z. B. die Zelle, in der es enthalten ist, geöffnet wird. Das Fibrin kommt in größter Menge in den Samen der Cerealien neben Pflanzenleim vor, welcher ihm klebende Eigenschaften verleiht, weßhalb es denn auch Kleber genannt wird. Der Pflanzenleim theilt die Zusammensetzung des Fibrins, er ist in Wasser unlöslich. In den ölhaltigen Samen tritt er häufig neben Albumin auf.

Um zu zeigen, in welchen Quantitäten die vorbemerkten Stoffe in den Samen vorkommen, theilen wir die Analysen der Eicheln und der Roßkastanie mit.

Früchte von Quercus Robur nach Brande		Früchte von Aesculus Hippocastanum nach Hermbstädt	
Stärkemehl	20,28	Stärkemehl	35,42
Pflanzenleim	18,00	Eiweiß	17,19
Gerbsäure	2,86	Gummi	13,54
Faser	7,15	Fettes Oel	1,21
Extractivstoff und Wasser	51,71	Faser	19,78
		Extractivstoff	11,45
	100,00		98,59

In den Samen der Fichte finden sich anstatt des Stärkemehls bis 24 Prozente Oel.

2. Chemische Veränderungen, welche die Bestandtheile der Samen bei der Keimung erleiden.

Bei einer gewissen Temperatur, und wenn die Samen mit Feuchtigkeit und Sauerstoff in Berührung sich befinden, beginnt eine merkwürdige Veränderung mit den Stoffen vor sich zu gehen, welche in den Samen abgelagert sind.

Der Sauerstoff, mag dieser nun aus der Luft, oder irgendwo anders

herrühren, tritt zuerst an die stickstoffhaltige Substanz (s. S. 64) und leitet bei ihr einen Zersetzungsprozeß ein, während die stickstofffreien Materien, wie Amylon und Dextrin wegen ihrer einfacheren Zusammensetzung dem Angriffe des Sauerstoffs Widerstand leisten.

In Folge des so eben erwähnten Zersetzungsprozesses bildet sich Kohlensäure. Die Luft, welche die Samen umgibt, ändert dabei ihr Volumen nicht, weil die Kohlensäure den nämlichen Raum einnimmt, welchen der in ihr enthaltene Sauerstoff für sich behauptet haben würde. Der Stickstoff der Proteïnsubstanzen vereinigt sich mit dem Wasserstoff zu Ammoniak. Folgende Zahlen, welche sich aus einem Versuche ergeben, den Boussingault mit Erbsen anstellte, machen das Verhältniß, in welchem die Elementarbestandtheile bei der Keimung abnehmen, anschaulich.

Erbsen	Gramme	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff	Erden u. Salze
vor dem Keimen	2,237	1,040	0,137	0,897	0,094	0,069
nach dem Keimen	1,075	0,472	0,065	0,397	0,072	0,069
Verlust	1,162	0,568	0,072	0,500	0,022	0,000

Wie schon früher bei einer andern Gelegenheit (S. 64) auseinandergesetzt wurde, überträgt sich die Bewegung, in welche die Atome des stickstoffhaltigen Körpers durch die Verbindung mit dem Sauerstoff gerathen, auf die stickstofffreie Substanz. Das Amylon geht dadurch in Dextrin über, indem sich je zwei Aequivalente des ersteren vereinigen.

Stärke $= C_6\ H_5\ O_5$
Dextrin $= C_{12}\ H_{10}\ O_{10}$ } 2 Stärke $= C_{12}\ H_{10}\ O_{10} = 1$ Dextrin.

Ganz reines Amylon wird für sich allein und ohne Gegenwart einer stickstoffhaltigen Substanz niemals in Dextrin verwandelt.

Der eben dargestellte Prozeß läßt sich sehr leicht an einem Samen verfolgen, welcher, wie z. B. die Roßkastanie, viel Stärkemehl enthält. Hat man der Kastanie die Bedingungen zur Keimung gegeben und untersucht man dieselbe von einem Tage zum andern unter dem Microscop, so findet man, daß die Zahl der Stärkemehlkörner nach und nach abnimmt und daß an ihre Stelle eine schleimige Substanz, Dextrin, tritt.

Unmittelbar aus dem Dextrin kann sich die Membran zu neuen Zellen entwickeln, denn diese besitzt genau die Zusammensetzung von jenem, nämlich $C_{12}\ H_{10}\ O_{10}$.

In den ölhaltigen Samen ist das Amylon durch Oel vertreten. Auch dieses geht unter dem Einflusse der stickstoffhaltigen Substanz in Dextrin über. Sehr schön läßt sich die Abnahme des Oelgehaltes bei den Samen der Nadelhölzer verfolgen; schon einige Tage, nachdem die Keimung eingeleitet worden ist, verschwindet der aromatische Geruch des Samens, welcher von Terpenthinöl herrührt.

In einigen Samen, z. B. denjenigen der Getraidearten erfährt das

Dextrin noch eine weitere Veränderung; es verwandelt sich unter Aufnahme von zweien Aequivalenten Wasser in Traubenzucker.

$$\begin{aligned} \text{Dextrin} &= C_{12}\ H_{10}\ O_{10} \\ 2\ \text{Wasser} &= \quad\ H_2\ O_2 \\ \text{Traubenzucker} &= \overline{C_{12}\ H_{12}\ O_{12}} \end{aligned}$$

3. Bedingungen für den Eintritt des Keimactes.

Diese wurden bereits unter 2 angegeben. Sie sind Sauerstoff, Feuchtigkeit und ein gewisser Wärmegrad.

a. Sauerstoff.

Warum die Keimung nicht ohne Sauerstoff vor sich gehen kann, läßt sich aus dem Vorhergehenden (2) entnehmen. Der erste Act des Keimprozesses besteht ja immer in der Zersetzung der stickstoffhaltigen Substanz, was auf Kosten des Sauerstoffs geschieht. Die Samen werden also auch in einer sauerstoffreichen Atmosphäre rascher keimen, als in einer an Sauerstoff armen.

Um jeden keimenden Samen bildet sich, wie oben bemerkt wurde, eine Schichte Kohlensäure, herrührend von der Zersetzung der stickstoffhaltigen Materie. Diese Kohlensäure mengt sich nur langsam mit der umgebenden Luft, sie schließt den Samen von der Berührung mit dem Sauerstoff der letztern ab. Jedes Mittel, welches geeignet ist, die von dem Samen entwickelte Kohlensäure zu entfernen, muß deßhalb eine Beschleunigung der Keimung bewirken.

Saussure wandte zu diesem Zweck gebrannten (seiner Kohlensäure beraubten) Kalk an. Er brachte die Samen unter eine Glasglocke und stellte neben sie eine Schale mit Kalk. Die Samen keimten hier viel schneller, als ohne diese Vorrichtung, unzweifelhaft aus dem Grunde, weil der Kalk die sich entwickelnde Kohlensäure begierig aufnimmt.

Es erklärt sich aus diesem Versuche, warum eine stark mit Humus versetzte Erde, welche sonst so wohlthätig auf die Vegetation wirkt, für den Keimact nicht in gleichem Maße vortheilhaft ist. Aus dem Humus geht ja stets ein Strom von Kohlensäure hervor, welcher den Sauerstoff der Luft von dem Samen abschließt. Der Forstmann soll daher, wenn er seine Cultursamen auf ihre Keimfähigkeit prüfen will, nicht gerade eine humushaltige Erde verwenden. Sand, welchem man es nicht an Feuchtigkeit fehlen läßt, wird viel schneller ein Resultat liefern.

Ein Gas verbindet sich mit den Bestandtheilen eines festen Körpers nie so schnell, als eine Flüssigkeit, denn die abstoßende Kraft, welche den Gastheilchen eigen ist, tritt der innigen Berührung der beiden Substanzen hindernd in den Weg. Gelänge es, einem Samen flüssigen Sauerstoff zuzuführen, so müßte offenbar die Keimung desselben beschleunigt werden.

Es ist bis jetzt noch nicht gelungen, den Sauerstoff durch Compression zu verflüssigen. Wohl kann man aber dieses Element in einem Zustande dar-

stellen, welcher nahe an den der Flüssigkeit grenzt, wenn man es aus Wasser abscheidet, also den mit ihm im Wasser verbundenen Wasserstoff durch ein anderes chemisches Agens hinwegnimmt. Man benutzt dazu die Verwandtschaft des Chlors zum Wasserstoffe.

Reines Wasser wird von Chlor nur in der Siedhitze zerlegt, es entsteht

O | H
 Cl

Salzsäure und Sauerstoff wird frei. Ist dagegen das Wasser mit einem organischen Körper verunreinigt, so erfolgt die Verbindung des Chlors mit dem Wasserstoff auch bei gewöhnlicher Temperatur. Die organische Substanz besitzt nämlich Verwandtschaft zum Sauerstoff; indem sie sich desselben zu bemächtigen sucht, erleichtert sie dem Chlor die Trennung des Wasserstoffs.

O H
/ \
Organ. Substanz Chlor

Der im status nascens aus dem flüssigen Wasser freiwerdende Sauerstoff muß gleichsam als flüssig angesehen werden; er wirkt, weil er eine innigere Berührung gestattet, weit kräftiger, als im gasförmigen Zustand.

Humboldt fand, daß Samen von Kresse (Lepidium sativum) in Chlorwasser in 6—7 Stunden, dagegen in gewöhnlicher Luft erst nach 36—38 Stunden keimten. In ersterem bildeten sie nach 15 Stunden 1,5 Mm. lange Würzelchen, während man sie bei den andern kaum bemerkte.

Ein Teig von Braunstein, Salzsäure und Wasser, in welchen man die Samen legt und dann auf 62° bis 75° Cels. erwärmt, soll nach Humboldt ähnliche Dienste leisten. Es wird nämlich hier gleichfalls Chlor entwickelt. Braunstein ist Manganhyperoxyd $= Mn\ O_2$; bringt man ihn mit 2 Aeq. Salzsäure ($Cl_2\ H_2$) und Wasser zusammen, so entsteht zuerst Manganchlorid ($Mn\ Cl_2$) und Wasser ($O_2\ H_2$).

$$Cl_2\ H_2 + Mn\ O_2 = Mn\ Cl_2 + O_2\ H_2$$

Das gebildete Manganchlorid kann als solches in der Hitze nicht bestehen; es zerlegt sich in Manganchlorür und in Chlor, welches frei wird.

$$Mn\ Cl_2 = Mn\ Cl + Cl$$

In Schönbrunn brachte Humboldt die Samen von Clusea rosea, bei welchen man die Einleitung des Keimprozesses vergeblich versucht hatte, mittelst dieses Teigs zum Aufgehen.

Versuche, welche der Verf. mit mehrern Baumsamen anstellte, führten zu keinem so günstigen Resultat. Bei Eicheln und Roßkastanien schien das Chlor die Keimung nur in unbedeutendem Grade zu beschleunigen; Bucheln, Samen von Pinus sylvestris, Abies excelsa und Abies pectinata in Chlorwasser gelegt, quollen zwar stark auf, keimten dagegen gar nicht. Es erklärt sich diese Erscheinung vielleicht durch den Oelgehalt der Samen. Das Oel

nimmt den Sauerstoff begierig auf und verdickt sich, indem sich Harz bildet. Betrachten wir beispielsweise den Vorgang beim Terpenthinöl ($C_5\ H_4$)

8 Aeq. Terpenthinöl $= C_{40}\ H_{32}$
hierzu 6 „ Sauerstoff $= O_6$
ist = 1 Aeq. Silvinsäure + 2 Wasser $= C_{40}\ H_{32}\ O_6$
Denn Silvinsäure ist $C_{40}\ H_{30}\ O_4$

b. Feuchtigkeit.

Die Feuchtigkeit dient vor allem dazu, damit die Samen aufquellen, ihr Volumen vermehren und somit dem Sauerstoff der Luft mehr Angriffspuncte darbieten. Vielleicht hat aber auch die Feuchtigkeit noch eine chemische Wirkung; es ist nämlich nicht unwahrscheinlich, daß der Sauerstoff der Luft nicht direct an den stickstoffhaltigen Bestandtheil der Samen tritt, sondern daß zuerst das Wasser zerlegt wird, worauf denn der aus dem letzteren freiwerdende Sauerstoff erst eigentlich die Zersetzung der Proteïnverbindungen im Samen vornimmt. Nach dieser Ansicht, welche schon von Gmelin ausgesprochen worden ist, würde der Sauerstoff der Luft ähnlich, wie das Chlor wirken.

O H
/ \
Org. Substanz O der Luft

Da aber hier kein neuer Körper (Salzsäure), sondern wieder Wasser entsteht, so läßt sich die Richtigkeit dieser Theorie nicht bestimmt nachweisen; sie findet ihre hauptsächliche Unterstützung in der Frage, warum der Sauerstoff der Luft nicht für sich allein, ohne die Gegenwart von Wasser, die Keimung veranlassen könne.

Das Maß von Feuchtigkeit, welches die Samen zu ihrer Entfaltung bedürfen, ist sehr verschieden. Einige ertragen durchaus keine Nässe, andere, wie die Samen von Vicia, Pisum und diejenigen der eigentlichen Wasserpflanzen besitzen die Eigenschaft, unter Wasser zu keimen. Sie vermögen übrigens nicht, für sich allein das Wasser zu zerlegen, sondern nehmen den Sauerstoff aus der im Wasser gelösten Luft. Diese ist bekanntlich viel reicher an Sauerstoff, als die gewöhnliche atmosphärische Luft, sie enthält nämlich anstatt 21 Volumprozenten deren 32 von diesem Gas. — Als Saussure Samen von Alisma Plantago und Polygonum amphibium in ausgekochtes Wasser, welches durch Quecksilber gesperrt war, legte, fand die Keimung nicht statt. Dieses Wasser war durch das Sieden seines Luftgehaltes beraubt worden. — Die Samen von Lemna erheben sich während der Keimung an die Oberfläche des Wassers; andere schwerere Samen bleiben jedoch am Boden liegen.

Unreife Samen keimen oft schneller, als vollständig gezeitigte; es ist diese Erscheinung dem größern Feuchtigkeitsgehalt der ersteren zuzuschreiben. Indessen ist es nicht vortheilhaft, unreife Samen zu Culturen zu verwenden, weil in diesen, wie später ausführlich nachgewiesen werden soll, noch zu wenig

Amylon, Dextrin oder Oel gebildet ist. Auch sind unreife Samen, eben wegen ihres größeren Feuchtigkeitsgehaltes, mehr dem Faulen ausgesetzt.

Das Bedecken der Samen mit Erde nach der Aussaat hat nicht blos zum Zweck, dieselben gegen die Nachstellungen der Thiere (Vögel, Mäuse ꝛc.) zu schützen, sondern es geschieht, und zwar hauptsächlich, in der Absicht, um ihnen die zur Keimung erforderliche Menge Feuchtigkeit zu sichern. Deßhalb verlangen die Samen in leichtem, zur Austrocknung geneigtem, Boden (z. B. Sand) eine stärkere Bedeckung, als in bindendem Erdreich (z. B. Thon). Bringt man aber die Samen zu tief unter, so keimen sie gar nicht mehr, weil sie dann von dem Sauerstoff der Luft abgeschlossen sind. Untersuchungen über die zweckmäßigste Tiefe, in welche die Samen einzulegen sind, nach Maßgabe der verschiedenen Bodenarten, wären sehr wünschenswerth. Ein Versuch mit Ahornsamen, welchen Klauprecht in Carlsruhe anstellte, gab folgendes Resultat. Oben aufgesäet — der Boden war eine sandige Gartenerde — keimte der Samen zwar verhältnißmäßig schnell, die Pflänzchen litten aber nachher von Trockniß und gingen der Mehrzahl nach ein. Einen Zoll unter der Erde entwickelten sich die Pflanzen schon kräftiger, bei zwei Zollen am schönsten, bei drei Zollen dagegen blieben viele aus. Schleiden hat Versuche mit Samen von Agriculturgewächsen vorgenommen. Leinsamen keimte bei 5 Zoll Erdbedeckung gar nicht mehr, Weizen entwickelte sich von 1 bis 3 und 4 Zoll immer kräftiger, je tiefer er lag, von 5 bis 7 Zoll dagegen immer kümmerlicher. Bei 7 Zoll blieben die Pflanzen ohne Aehren, bei 8 Zoll keimten sie gar nicht mehr.

Wie schon bemerkt, ist ein zu tiefes Unterbringen der Samen aus dem Grunde nachtheilig, weil dieselben dann nicht die zur Keimung erforderliche Quantität Sauerstoff erhalten, aber nicht etwa deßhalb, weil der Keimprozeß nur bei Gegenwart des Lichtes vor sich gehen könnte. Wir sehen ja, daß die Samen sich ganz im Dunkeln entfalten. Auf der andern Seite ist aber auch die von Sennebier ausgegangene Ansicht, daß das Licht der Keimung schädlich sei, nicht richtig. Saussure ließ Samen unter zwei Recipienten keimen, von denen der eine durchsichtig war, während der andere nur ein zerstreutes Licht durchließ. Beide Samen entwickelten sich gleich kräftig. Wenn also die Keimung bei direct einfallendem Lichte gehindert wird, so ist die Ursache davon nicht in dem Lichte selbst, sondern in der Wärme zu suchen, welche das Licht begleitet.

Gar oft erscheinen nach einer Lockerung des Bodens, nach dem Roden der Bäume ꝛc. an manchen Orten Pflanzen, welche sonst hier fehlten. So überziehen sich z. B. auf dem Kieselschiefer des Hessischen Rodhargebirges die Böschungen von neu angelegten Wegen mit Digitalis purpurea (dem rothen Fingerhut), auch wenn diese Pflanze in weiter Entfernung nicht vorkommt. Man muß annehmen, daß die Samen des Fingerhutes von früherer Zeit her in der Erde lagen und durch die Bedeckung mit Laub, Humus, Erde u. s. w.

am Keimen gehindert waren. Auch bei Spartium scoparium (der Besenpfrieme) und bei Senecio vulgaris (der gemeinen Kreuzwurz) hat man in derselben Gegend, sowie im Odenwalde die nämliche Bemerkung gemacht. Bohutinsky beobachtete in Böhmen das plötzliche Erscheinen und Ueberhandnehmen von Himbeeren auf abgetriebenen Schlägen, in denen vorher keine Himbeere zu sehen war. Er brachte Erde aus 300jährigen Buchen-, Tannen- und Fichtenbeständen in Mistbeete und nach 3 Wochen sproßten die Himbeeren hervor.

c. **Wärme.**

Der Keimprozeß ist von vorn herein blos chemischer Natur; der Sauerstoff vereinigt sich mit der stickstoffhaltigen Substanz, und hierzu ist, wie bei jeder andern chemischen Verbindung, eine bestimmte Temperatur unerläßlich. Nach den Untersuchungen von Edwards und Colin keimen Getraidesamen nicht mehr bei einer Temperatur, welche niedriger, als 5°,5 R. liegt. Hohe Kältegrade schaden den gehörig abgetrockneten und noch nicht gekeimten Samen gar nicht, oder doch weit weniger, als eine gesteigerte Hitze. Nach den beiden genannten Naturforschern keimt Getraide nicht mehr bei einer Temperatur, welche + 36° R. übersteigt, wenn schon bei dieser Temperatur die Keimkraft sich noch nicht verliert. In heißem Wasser wird die letztere schneller zerstört, als in Dämpfen oder in trockener Luft von der nämlichen Wärme, wahrscheinlich deßhalb, weil die Berührung des Wassers mit den Samen inniger ist, als die von Dämpfen oder Gasen.

Ueber die Grenzen der Temperaturen, bei welchen die Samen der Waldbäume noch keimen, sind bis jetzt noch keine directen Untersuchungen angestellt worden. Wir führen die Frühlingssaaten gewöhnlich im März und April aus, und in diesen Monaten herrscht im mittlern Deutschland eine Temperatur von durchschnittlich 4 bis 12 Graden. Vielleicht bedürfen die Samen von denjenigen Holzarten, deren Blätter spät austreiben, einer größern Wärme — doch ist dies blos eine Vermuthung, deren Bestätigung von genaueren Untersuchungen abhängt. — Wird Nadelholzsamen bei einer Temperatur unter 44° C. ausgeklengt, so leidet seine Keimkraft nicht, bei Anwendung einer größern Wärme findet aber eine zu große Austrocknung statt, welche ihm nachtheilig wird.

Der Verlauf des Keimactes ist von einer gewissen Wärmesumme abhängig, welche während dieser Periode eintreten muß. Deßwegen keimt in Schweden das Getraide im April gesäet in 16—18, im Mai in 8—9, im Juni in 6—7 Tagen. — Da die Frühlingswärme nur allmählig in den Boden eindringt, so brauchen die Samen in der Tiefe mehr Zeit zum Keimen, als nahe unter der Bodenoberfläche. Nach den Versuchen von Schleiden betrug bei Getraide und Hülsenfrüchten der Unterschied im April 10—14, im Juni 4—7 Tage.

So wenig die Samen selbst von Frost zu leiden haben, um so empfind-

licher sind dieselben, wenn das Würzelchen sich bereits entwickelt hat. Ueberall da, wo Fröste zu fürchten sind, wie in nassen Lagen, an Südostseiten u. s. w. sollte man deßhalb die Frühjahrssaat, bei welcher die Samen später auflaufen, der Herbstsaat vorziehen. Diejenigen Samen, welche man gewöhnlich nicht obenauf säet, sondern sorgfältig mit Erde bedeckt, wie Eicheln, Kastanien, Welschnüsse, Bucheln, Ahorne *c. lassen sich vor dem frühen Keimen dadurch schützen, daß man sie etwas tiefer unterbringt. Vor Allem ist aber darauf zu sehen, daß sie nicht hohl zu liegen kommen; hat man z. B. Eicheln untergepflügt, so muß der Boden noch einmal mit einer Walze oder einer umgekehrten Egge überfahren werden. Denn im Boden pflanzt sich eine Abnahme der Temperatur viel langsamer fort, als in der Luft, weil die kältern Luftschichten schwerer sind, als die wärmeren und jene, in Folge der Verschiebbarkeit der Gastheilchen, zu Boden sinken können.

4. Dauer der Keimkraft.

Einige Samen verlieren ihre Keimkraft sehr schnell, wie z. B. Eicheln und Bucheln; andere, zu denen vorzüglich die Getraidearten und auch einige ölhaltige gehören, bewahren sie lange Zeit. Getraide, welches man aus Egyptischen Mumien genommen hatte, ließ sich noch zum Keimen bringen, obgleich es ein Alter von beinahe 3000 Jahren erreicht hatte. Im Durchschnitt erhalten ihre Keimfähigkeit: Eicheln und Bucheln $1/_2$, Hainbuchen 3—4, Kiefern 2—3, Fichten 5—6, Tannen $1/_2$—$1\,1/_2$, Lärchen 2—3, Rüstern, Erlen und Birken $1/_2$—$1\,1/_2$, Ahorn und Eschen 2—3 Jahre.

Doch hängt die Dauer der Keimkraft sehr von der Behandlung der Samen und der Methode der Aufbewahrung ab. Unreife Samen verlieren ihre Keimfähigkeit sehr schnell, wegen ihres größern Wassergehaltes, der den Eintritt von Fäulniß veranlaßt. Einige Samen, wie z. B. diejenigen von Birken, Obsttrester *c., erhitzen sich, auf Haufen geschichtet, sehr schnell und büßen dann an Keimkraft ein. Es beginnt nämlich, so lange diese Samen noch das volle Maß ihrer natürlichen Feuchtigkeit enthalten, in Berührung mit dem Sauerstoff der Atmosphäre sogleich die Zersetzung der stickstoffhaltigen Substanz, der Kohlenstoff und Wasserstoff der letztern verbrennt gleichsam mit dem Sauerstoff der Luft und die dabei auftretende Wärme kann bedeutend werden, wenn viele solcher Samen dicht auf einander liegen. Dieser nachtheiligen Erhitzung begegnet man, indem man die Samen dünn ausbreitet und öfters umschaufelt.

Alle guten Methoden für die Aufbewahrung der Samen laufen darauf hinaus, eine oder mehrere Bedingungen der Keimung zu entfernen. Dahin gehört also, daß die Samen gehörig abtrocknen, obgleich sie auch nicht zu stark austrocknen dürfen, weil sie sonst das zur Keimung erforderliche Maß von Feuchtigkeit verlieren. Nachdem die Samen lufttrocken geworden sind, bringt man sie in Behälter, welche gegen das Eindringen der Feuchtigkeit

Schutz gewähren. Die verschiedenen Vorrichtungen, welche man zu diesem Zweck ausgedacht hat, werden in der „Forstbenutzung" abgehandelt. Beiläufig bemerken wir noch, daß das Vermengen der Samen mit Kohlenpulver, welches hie und da zur Anwendung gebracht wird, nichts anders zum Zwecke hat, als die Samen trockner zu erhalten; die Kohle absorbirt nämlich allen Wasserdampf, welcher mit ihr in Berührung kommt, sie verdichtet denselben an ihrer Oberfläche.

Zweiter Abschnitt.

Von der Ernährung.

1. Die Ernährung der Pflanze von vorn herein geschieht auf Kosten der Nahrungsstoffe, welche im Samen aufgespeichert sind.

So lange die Samen im Keimen begriffen sind, und bis zur vollständigen Entwicklung des Würzelchens und Stengelchens nimmt die junge Pflanze keinerlei Nährstoffe, mit Ausnahme des Wassers, aus ihrer Umgebung auf. Man kann Samen in Eisendraht, in Roßhaaren, oder auf Löschpapier keimen lassen, in einer Atmosphäre, welche ganz frei von Kohlensäure ist. Wurzel und Stengel, sowie die ersten Blätter werden gebildet blos aus denjenigen Stoffen, welche die Natur in den Samen selbst niedergelegt hat. Das Sameneiweiß und die Samenlappen bilden die Vorrathskammer für die stickstoffhaltige sowohl, als auch für die stickstofffreie Substanz. Den Antheil, welchen insbesondere die Samenlappen an der Ernährung haben, wies Bonnet (Untersuchungen über den Nutzen der Blätter. Deutsch von Boeckh, Ulm 1803. S. 110 ff.) durch folgenden Versuch nach. „Ich habe anfangs August in einem mit Gartenerde angefüllten Kasten Schminkbohnen und Haidekorn gesäet. Sobald die Samen aufgegangen waren, nahm ich mehreren Schminkbohnen die Samenlappen, ebenso mehreren Haidekornpflanzen die Samenblätter. Ich bediente mich hierzu einer scharfen Scheere. Andere Pflanzen, sowohl der ersten, als der andern Art, ließ ich in ihrem vollkommenen Zustand, um die nöthigen Vergleichungen anstellen zu können. — Ungefähr 12 Tage nachher habe ich die ersten Blätter der Schminkbohnen, die ihre Samenlappen behalten hatten, gemessen und dieselben 3½ Zoll lang und eben so breit gefunden; die Blätter der Schminkbohne, die ihrer Samenlappen beraubt waren, hatten aber nur eine Länge von 2 Zoll und eine etwas geringere Breite. Eben dieser Unterschied, oder ein ähnlicher, zeigte sich bei diesen Pflanzen während ihres

ganzen Wachsthums. Immer konnte man sie sehr leicht unterscheiden. Die Schminkbohnen, die in ihrem vollkommenen Zustand geblieben waren, haben mehrere Blüthen getrieben, mehrere und größere Hülsen angesetzt, als diejenigen, welche ihrer Samenlappen beraubt worden waren. Das Abschneiden der Samenblätter hatte beim Haidekorn weit bemerkbarere Folgen, als das Abnehmen der Samenlappen bei der Schminkbohne. Fast alle, welche diese Operation ausgestanden hatten, sind zu Grunde gegangen."

2. Bestandtheile des Holzes.

Die Stoffe, welche in den Samen abgelagert sind, reichen nur eben zur Bildung des Würzelchens, Stengelchens und der ersten Blätter hin; nachdem sie verbraucht sind, ist die Pflanze bezüglich ihrer Ernährung und insbesondere ihrer Massenmehrung auf die äußere Umgebung angewiesen. Die Frucht der Eiche enthält sicherlich nicht das Material zu einem ganzen Eichbaum von vielen Kubikmetern Holzmasse; woher, fragen wir, nimmt die Pflanze die Stoffe auf, mittelst deren sich ihr Volumen eine Zeit lang fortwährend vergrößert?

Um diese Aufgabe zu lösen, müssen wir zuerst die Structur und Zusammensetzung des Holzes untersuchen.

a. Structur des Holzes.

Mit unbewaffnetem Auge betrachtet, scheint das Holz aus einer bald mehr, bald weniger dichten, von größeren oder kleineren Poren durchzogenen Masse zu bestehen. Untersucht man aber das Holz mit einem Mikroscop, so bemerkt man, daß es ein Aggregat von sehr kleinen zellen- oder röhrenförmigen Körperchen ist.

Diese kleinen Röhrchen und Zellen laufen theils mit der Axe des Stammes oder der Zweige parallel, theils stehen sie winkelrecht auf dieselbe. Im ersten Fall bestehen sie entweder aus einer continuirlichen Röhre und werden dann Längsgefäße genannt, oder sie sind durch Querwände geschieden und heißen dann Zellen. Sind die Scheidewände schief, so nennt man ein Aggregat von solchen Zellen Prosenchym, sind sie, was im Holze seltener vorkommt, rechtwinklig zur Längswand der Zelle, so heißt es Parenchym. Die auf die Längs-Gefäße oder Zellen rechtwinklig stehenden Zellen werden Spiegelfasern oder Markstrahlen genannt. Ist, wie es häufig stattfindet, eine größere Zahl der Markstrahlenzellen zu einem Bündel vereinigt, so lassen sich die letztern zuweilen mit bloßem Auge wahrnehmen (z. B. bei der Buche, Eiche); sie zeichnen sich dann durch lebhaften Glanz aus und führen daher den Namen Spiegelfasern. Häufig ist die Länge der Markstrahlenzellen nicht

Fig. 137.

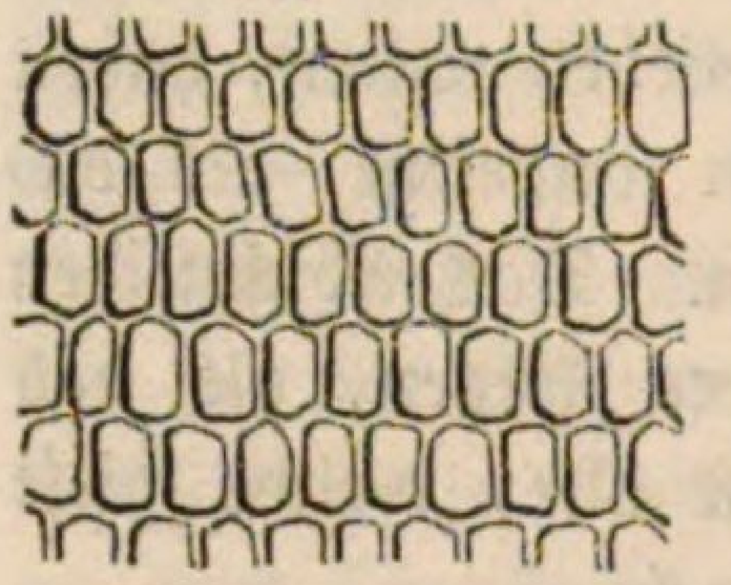
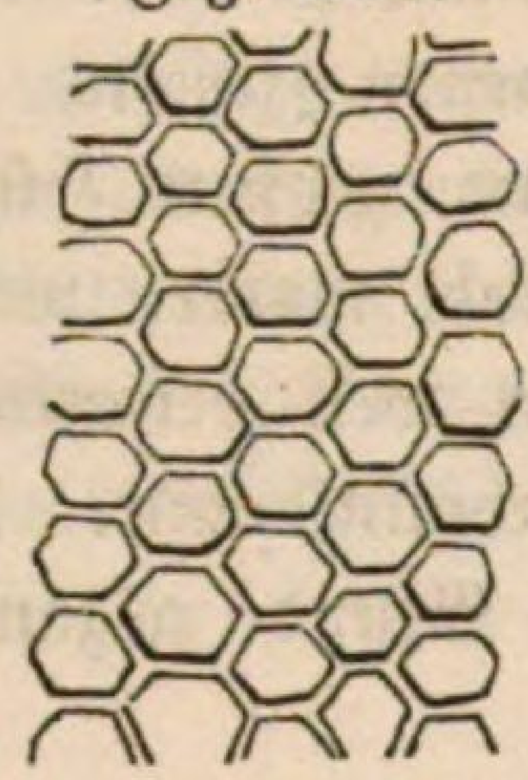


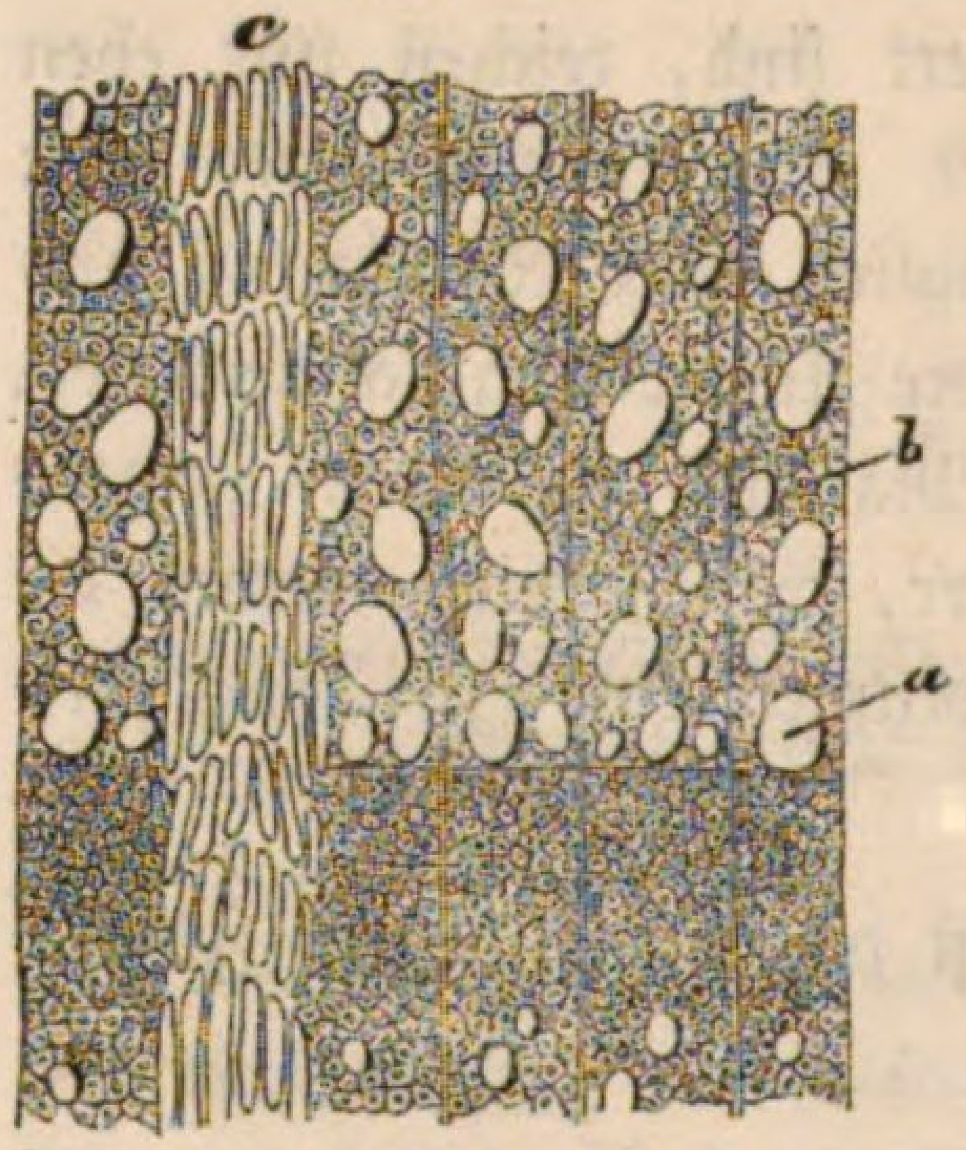
Fig. 138.



viel bedeutender, als ihre Höhe. Das Mark besteht meist nur aus Zellen, welche eben so breit, als hoch und lang sind. (Fig. 137. ein Querschnitt, Fig. 138. ein Längsschnitt durch das Mark der Platane bei 40facher Vergrößerung).

Betrachten wir nun die elementare Textur einiger Holzarten mit Hülfe des Mikroscops. Figur 139 zeigt uns einen Querschnitt durch das mehrjährige Holz der Buche bei 40facher Vergrößerung. Die rundlichen Oeffnungen, welche wir hier erblicken, sind nichts anderes, als die Höhlenräume der durchschnittenen Längsgefäße. Wir bemerken größere (a) und kleinere (b) Oeffnungen; erstere gehören weiten dünnwandigen Gefäßen und letztere engen dickwandigen Zellen an.

Fig. 139.

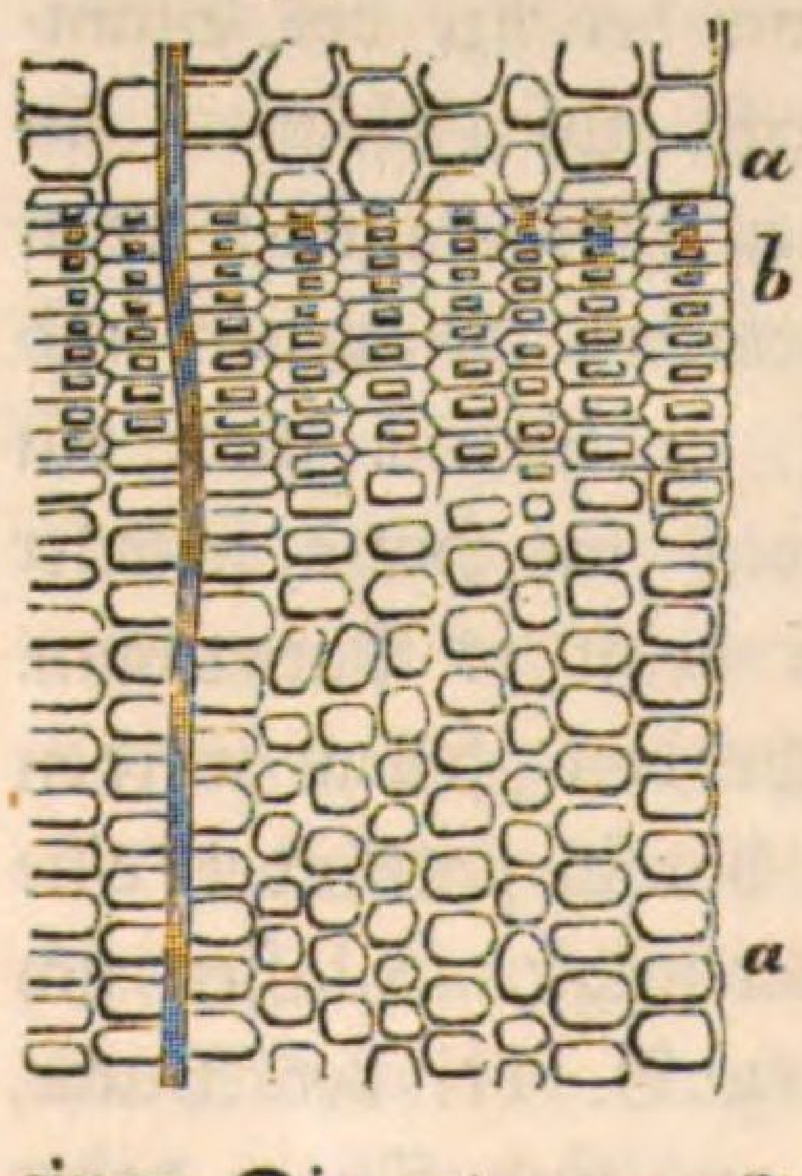


Bei den weichen Holzarten sind die weiten Gefäße gewöhnlich durch die ganze Breite des Jahrrings ziemlich gleichmäßig vertheilt; bei den harten Holzarten (Buche und Eiche) beginnt dagegen der neue Jahrring stets mit weiten Gefäßen und endigt mit engeren Zellen.

Außer den so eben genannten rundlichen Oeffnungen lassen sich aber noch andere von länglicher Figur (c) wahrnehmen, diese gehören den Markstrahlenzellen an.

Die Nadelhölzer besitzen gar keine Gefäße, sondern blos Zellen. Hier liegen aber die weiten Zellen nicht zwischen den engern vertheilt, sondern es besteht der Anfang des neuen Jahrrings ausschließlich aus weitern, eckigen Zellen (a) und endigt mit engeren (b) von gleicher Form (Fig. 140. Querschnitt durch das Holz der Kiefer bei 40facher Vergrößerung).

Fig. 140.



Da die einzelnen Theile der Jahrringe ziemlich gleichmäßig von Markstrahlen durchzogen sind, so können die letztern auch nicht alle aus dem Mark entspringen; es erzeugen sich mit jedem neuen Jahrring neue Markstrahlen, welche sich in keinem Zusammenhang mit dem Mark befinden.

Führen wir nun einen Schnitt durch irgend einen Diameter parallel mit der Axe des Stammes oder Zweiges, so erkennen wir die Beschaffenheit der Wände der Längs-Gefäße und der Markstrah-

lenzellen. Betrachten wir zuerst einen Längsschnitt durch das Holz der Platane (Fig. 141, bei 150facher Vergrößerung). Es stellen a, a zwei weite Gefäße vor, ihre Wände sind mit zierlichen Bildungen besetzt, bald bestehen sie aus kleinen, mehr oder weniger regelmäßig zusammengereiheten Tüpfeln, bald aus treppenartigen Querstreifen. Im jüngsten Holz, zunächst dem Mark kommen auch spiralige Windungen vor; diese fehlen aber durchaus in den Jahrringen des mehr als einjährigen Holzes, sowie bei den Nadelhölzern. b sind die engen prosenchymatischen Zellen. Parenchymzellen enthalten nur wenige Holzarten, wie z. B. die Eiche. c stellt wie vorhin beim Querschnitt die Markstrahlen vor. Die letztern setzen sich bis in die Rinde fort und lösen sich nur im Frühjahr, wenn der Saft in die Bäume steigt und um Johannis, wenn er zum zweitenmal fast eben so reichlich sich aufwärts bewegt, zwischen Holz und Rinde. Fig. 142 zeigt einen Schnitt parallel der Tangente des Umfangs, die Ovalen c stellen den Querschnitt durch einige Bündel Markstrahlen vor.

Fig. 141.

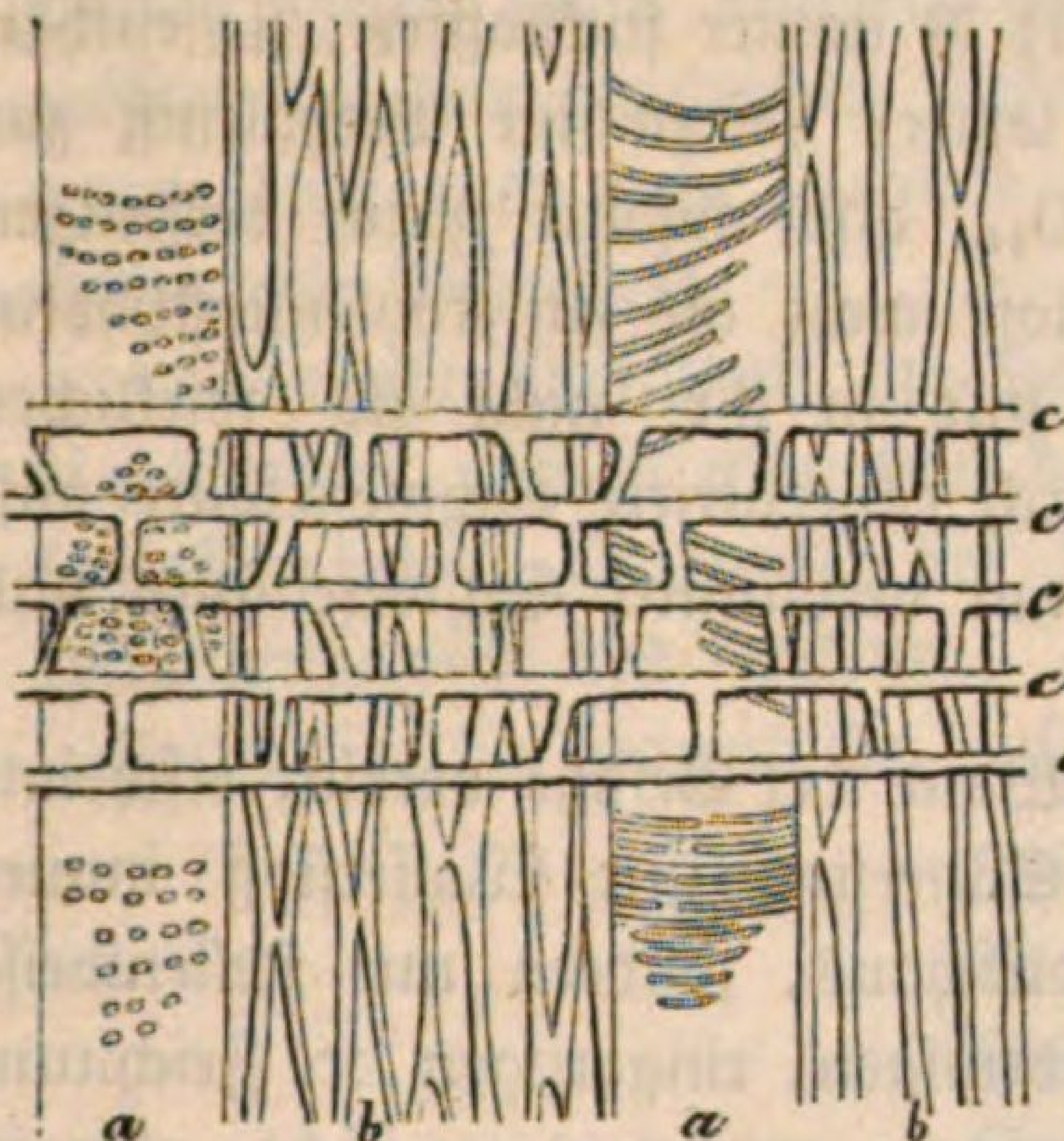
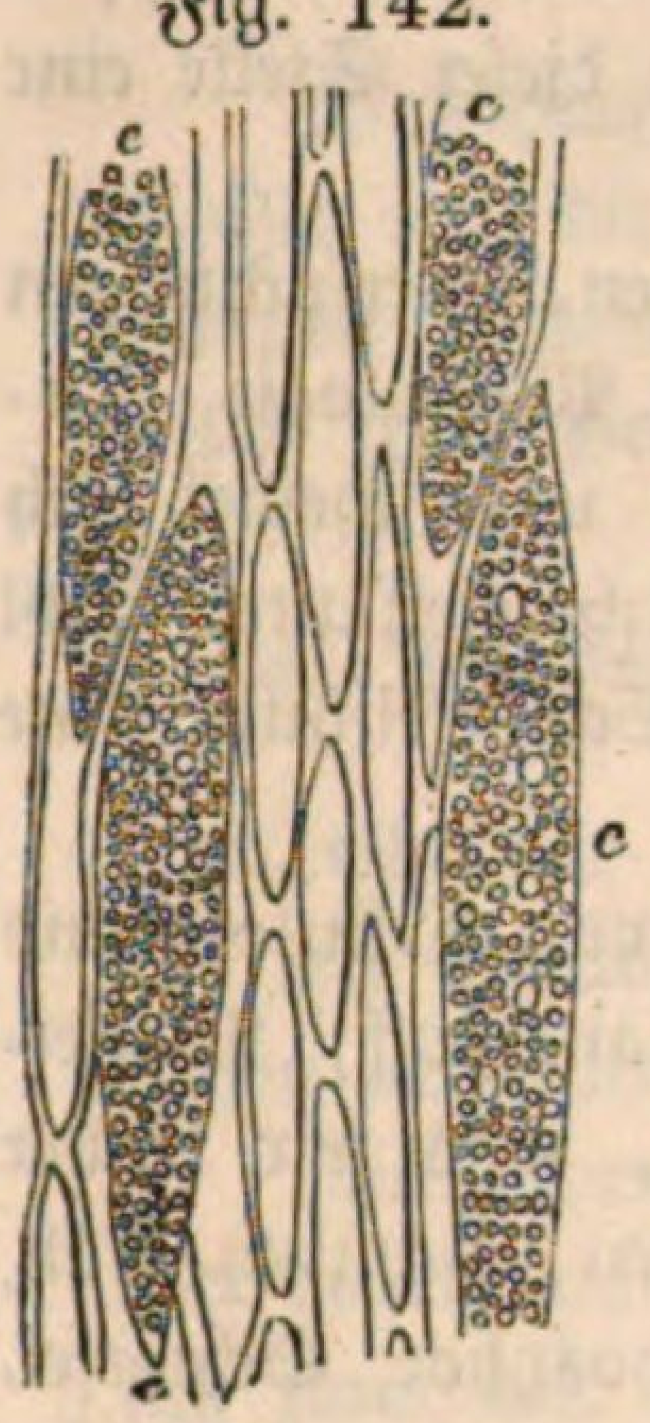
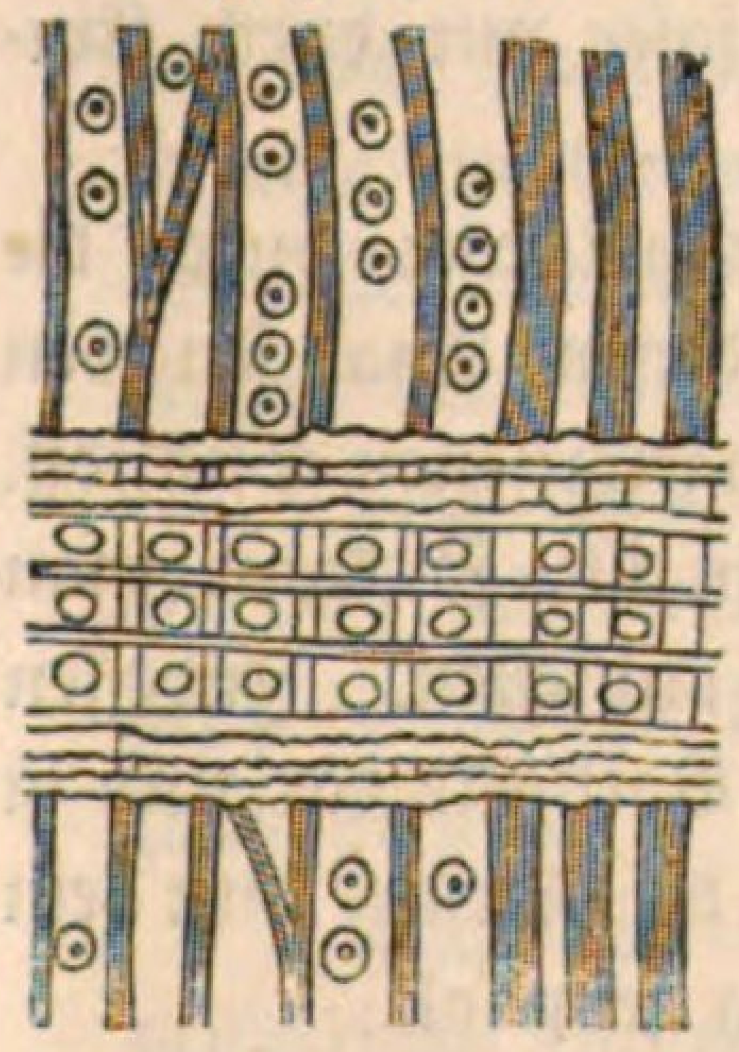


Fig. 142.



In vorzüglicher Größe sind die Tüpfel beim Nadelholze entwickelt; (Figur 143, Längsschnitt durch das Holz der Kiefer im Sinn des Diameters). Sie sind hier sowohl den Markstrahlenzellen, als auch den Längsgefäßen eigenthümlich, kommen aber bei letztern nur auf der Seite vor, welche nach den Markstrahlen hin gerichtet ist.

Fig. 143.



b. Chemische Zusammensetzung des Holzes.

Die röhrenartigen Elementarorgane der Pflanzen sind in der Mehrzahl der Fälle keine ursprüngliche Bildung, sondern aus Zellen von gleicher Höhe und Breite durch Resorption der Querscheidewände entstanden. Diese Zellen bestehen in ihrer ersten Anlage aus einem ganz dünnen Häutchen, welches wir Membran nennen wollen. Die vorhin genannten Zeichnungen auf den Wänden der

Gefäße erzeugen sich erst späterhin durch Ablagerungen aus den Saftbestandtheilen.

Die Membran (auch Cellulose genannt) ist immer stickstofffrei; sie enthält Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, letztere beiden im Verhältniß zur Wasserbildung. Die Formel ist C_{12} H_{10} O_{10} also absolut gleich derjenigen des Dextrin's. Doch kann man die Cellulose nicht als ein Kohlenstoffhydrat ansehen, denn Wasserstoff und Sauerstoff sind in ihr nicht als wirkliches Wasser enthalten. Die Cellulose wird durch concentrirte Schwefelsäure aufgelöst; sie färbt sich blau, wenn man sie mit verdünnter Schwefelsäure und Jod behandelt.

Die Ablagerungen, durch welche die Wand der Gefäße verdickt erscheint, enthalten beim Holze neben Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff immer Stickstoff. Indem sie die Membran nicht durchaus, sondern nur stellenweise bekleiden, entstehen die spiraligen, treppenförmigen, ringartigen 2c. Zeichnungen; Tüpfel bilden sich da, wo die Ablagerung entweder gar nicht, oder in allmählig vermindertem Maße erfolgt. Oft löst sich in der Mitte des Tüpfels die Membran später ganz auf, so daß dann das Gefäß an dieser Stelle eine wirkliche Oeffnung besitzt.

Die Ablagerungsschichte, deren Formel nach chemischen Untersuchungen durch C_{35} H_{12} O_{10} vorgestellt ist, wird in der Sprache der Physiologie „incrustirende Materie“ oder „Lignin“ genannt. Sie unterscheidet sich dadurch wesentlich von der Cellulose, daß sie sich nicht in Schwefelsäure, wohl aber in Aetzkali und Salpetersäure löst und daß Jod und Schwefelsäure keine blaue Färbung bei ihr hervorbringen.

Betrachten wir nun die Holzfaser, als ein Aggregat von Cellulose und Lignin, im Ganzen, so ist klar, daß dieselbe Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff enthalten muß. Hierzu kommen aber, was wir bisher unerwähnt gelassen haben, gewisse unorganische Substanzen, nämlich Kali, Natron, Kalk, Magnesia, Thonerde (?), Eisen, Mangan, Phosphor, Schwefel, Chlor, Kieselerde. Diese sind aber viel mehr in der incrustirenden Materie, als in der Membran enthalten; sie lassen sich von der Holzfaser nur durch Einäscherung vollständig trennen.

Gay Lussac fand die Zusammensetzung der Eichenholzfaser durch die Formel C_{36} H_{22} O_{22} ausgedrückt; er übersah aber bei diesen Analysen den neuerdings von Chevandier mit großer Bestimmtheit nachgewiesenen Stickstoff. Da das Holz nur ein Aggregat von Cellulose und Lignin ist, so kann man eigentlich keine chemische Formel für seine Zusammensetzung aufstellen. Indessen bietet der Gebrauch derselben in der Physiologie manche Vortheile dar und ist auch ganz unschädlich, wenn man nicht vergißt, daß die Formel nur ein veränderter Ausdruck für die prozentische Zusammensetzung sein soll.

Nach der obigen Formel wären auch im Holze der Sauerstoff und Wasserstoff im Verhältniß zur Wasserbildung enthalten; indessen haben genaue

Analysen gezeigt, daß dieses nur beim Ebenholze (Diospyros Ebenum) der Fall ist, die übrigen Holzarten enthalten alle ein Plus von Wasserstoff. Der Betrag dieses freien Wasserstoffs, wie man ihn auch wohl nennt, ist am größten bei dem harzreichen Nadelholze und bei den weichen Holzarten, weßwegen diese auch mehr Flamme beim Verbrennen entwickeln, als z. B. Buchen- und Eichenholz.

Der Stickstoffgehalt im Holze beträgt nach Chevandier durchschnittlich ein Prozent. Sieht man von den Aschebestandtheilen und dem freien Wasserstoff, dessen Quantität bei den weichen Holzarten bis über 1% vom Gesammtgewicht des trockenen, aschenfreien Holzes ausmachen kann, ab, so gestaltet sich die prozentische Zusammensetzung der Holzfaser folgendermaßen:

Kohlenstoff	51,65
Wasserstoff	5,26
Sauerstoff	42,09
Stickstoff	1,00
	100,00

Das Holz enthält aber außer dem Faserstoff im Innern der Gefäße noch Wasser und die sogenannten Saftbestandtheile, auf welche wir später zurückkommen werden, sowie auch Luft. Die Mengen von diesen sind sehr veränderlich nach Holzart, Standort und Jahreszeit.

3. Ursprung des Kohlenstoffs in der Holzfaser.

Ehe wir entwickeln, woher der Kohlenstoff des Holzes stammt, müssen wir den Standpunkt feststellen, von welchem wir bei den folgenden Untersuchungen ausgehen werden.

Die Chemie hat die zusammengesetzten Körper in ihre Elemente zerlegt, von denen man bis jetzt 62 kennt. Man nimmt nun an, daß diese Elemente sich zwar mit einander verbinden, aber nicht in einander übergehen können. Aus Sauerstoff kann also kein Stickstoff, aus Wasser kein Kohlenstoff entstehen, wie noch Hundeshagen vermuthete. Nach den Sätzen, welche der heutigen Chemie zur Grundlage dienen, haben wir daher auch daran festzuhalten, daß alle Elementarstoffe, welche sich in der Pflanze finden, ihr als solche von Außen dargeboten werden müssen.

Eine große Anzahl fehlerhafter Hypothesen über den Ursprung des Kohlenstoffs fällt von vorn herein in sich zusammen, wenn man ermittelt, wie groß die Quantität des Kohlenstoffs sein kann, welche der Wald zu produziren vermag.

Nach den Untersuchungen des Verf. lieferte ein Hectare Kiefernwald, mit 60jähriger Umtriebszeit behandelt, an Haubarkeits- und Zwischennutzungen durchschnittlich folgenden Ertrag:

Scheitholz	Prügelholz	Stockholz	Reisholz	
8,10	1,60	1,13	1,81	Stere,

wobei zu Scheitholz alles Holz über 125, zu Prügelholz das von 75—125, zu Reisholz dasjenige unter 75 Millimetern mittleren Durchmessers gerechnet wurde.

In dem vorliegenden Falle wog 1 Stere getrocknetes Scheitholz 275, Prügelholz 287, Stockholz 270, Reisholz 310 Kilogramme. Hieraus berechnet sich das Gewicht der jährlichen Erndte an trockenem Kiefernholz:

Scheitholz	2227,5	Kilogramme
Prügelholz	459,2	"
Stockholz	305,1	"
Reisholz	561,1	"
	3552,9	"

Nach den Untersuchungen Chevandiers enthält in 100 Theilen

	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff
Scheitholz	52,15	6,16	40,59	1,10
Prügelholz	52,15	6,18	41,09	0,58
Reisholz	50,97	6,02	42,41	0,60

Nehmen wir nun an, daß die Zusammensetzung des Stockholzes gleich derjenigen des Scheitholzes sei (was ohne merklichen Fehler geschehen kann), so ergibt sich für die jährliche Produktion der verschiedenen Sortimente pro Hectare

	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff	
Scheitholz	1161,6	137,2	904,2	24,5	Kilogramme
Prügelholz	239,5	28,4	188,7	2,6	"
Stockholz	159,1	18,8	123,8	3,4	"
Reisholz	286,0	33,8	237,9	3,4	"
	1846,2	218,2	1454,6	33,9	"

Ein Hectare Kiefernwald produzirt also unter den angegebenen Verhältnissen jährlich 1846, 2 Kil. Kohlenstoff.

Diese Quantität Kohlenstoff kann nicht ausschließlich von dem Boden stammen.

In Hannover, an den Ufern der Ost- und Nordsee, in der Mark Brandenburg, im westlichen Frankreich rc. befinden sich Flugsandstrecken von großer Ausdehnung, auf welchen keine größeren Gewächse vorkommen, welche den Boden mit Humus bereichern könnten. Dieser Boden enthält oft so wenig organische Reste, daß er nach dem Glühen kaum eine Schwärzung hinterläßt. Und doch erndtet man von diesem Boden, wenn man den Sand künstlich beruhigt und ihn mit Kiefern in Cultur bringt, jährlich eine Quantität Kohlenstoff, die der oben angeführten sehr häufig nicht nachsteht. Dieser Kohlenstoff rührt unmöglich aus dem Boden her.

Die Asche und Lava, welche die Vulkane auswerfen, ist berühmt wegen der Fruchtbarkeit, die sie im Laufe der Zeit erlangt. Auf den verwitterten Lavaströmen des Vesuv wächst ein herrlicher Wein — Lacrimae Christi genannt. Im Val Demone am Aetna, auf alten Lavaströmen, trifft man riesenhafte Kastanienbäume, untern andern den Castagno di Cento Cavalli, welcher in fünf Theile gespalten ist und dessen Krone 180 Fuß im Umfang hält. Auf der ganz vulkanischen Insel Stromboli wächst ein vorzüglicher Wein. Die Asche und Lava kommen aber frei von Kohlenstoff aus dem Krater, weil die Gegenwart von Sauerstoff und eine sehr hohe Temperatur die Kohle nicht unverbunden bestehen lassen, sie vielmehr in Kohlensäure umwandeln würden, welche als Gas entweichen müßte. Der Kohlenstoff, welchen die Gewächse besitzen, die auf Lava und Asche vegetiren, kann nicht aus dem Boden stammen.

Die ersten Pflanzen, welche auf der Erde erschienen, konnten ihren Kohlenstoff unmöglich organischen Resten des Bodens entziehen, denn es gab keinen Urhumus. Oder ist es denkbar, daß der Schöpfer zuerst abgestorbene Theile von Organismen vor den lebenden erzeugt habe?

Auf guten Standorten kann beim Buchenhochwalde im Alter der Mannbarkeit jährlich eine Erndte von 1000 Kilogrammen waldtrockenen Laubes erfolgen. Nehmen wir an, es sei beim Abtriebe eines Buchenhochwaldes der Laubabwurf von 10 Jahren in noch unverwestem Zustande erhalten, so würden sich auf einem Hectare 1000 Kilogramme Laub vorfinden, welches etwa 6% Asche und 20% Feuchtigkeit besitzt. Nach Abzug der beiden letzteren blieben 7400 Kil. Holzfaser, welche ungefähr 3848 Kil. Kohlenstoff enthielte. Wollte man nun nach dem Abtrieb der Buchen Kiefern anbauen, so würde der 10jährige Laubvorrath gerade nur hinreichen, um den Kiefernbestand etwas über zwei Jahre mit Kohlenstoff zu versehen.

Der Boden und die Atmosphäre sind die beiden Media, in welche die Pflanzen hineinragen; da der Kohlenstoff im Boden zur Ernährung der Gewächse nicht genügt, so müssen wir seine Quelle in der Atmosphäre suchen.

Reicht denn aber der Kohlensäuregehalt der Luft hin, um die Vegetation auf der ganzen Erde mit Kohlenstoff zu versorgen? Die Antwort auf diese Frage kann nur mittelst Rechnung gegeben werden.

Nimmt man die Größe eines Erdmeridians zu 40 Millionen Metern an, so ist die Oberfläche der Erde, wenn man letztere als vollkommene Kugel betrachtet, 509296000000000 □ Meter. Denkt man sich, die Erde sei anstatt mit Luft, mit Quecksilber von dem am Meere herrschenden Barometerstand, also von 0,76 Metern Höhe umgeben, so berechnet sich das Volumen dieser Quecksilbermasse zu 387064960000000 Cubikmetern. Das spezifische Gewicht des Quecksilbers ist = 13,5; in der Luft sind dem Gewicht nach

0,0008 Theile Kohlensäure enthalten; in letzterer hat man 0,2727 Kohlenstoff; hieraus ergiebt sich das Gewicht des in der Kohlensäure der Luft befindlichen Kohlenstoffs gleich 1139970000000000 Kil. oder circa 1140 Billionen Kilogramme. Nehmen wir weiter mit Humboldt an, daß das Festland 0,266 der Erdoberfläche betrage, so berechnet sich die Ausdehnung der zur Pflanzenproduction möglicher Weise geeigneten Gesammtfläche zu 13547273600 Hectaren und die Quantität des auf derselben erzeugbaren Kohlenstoffs zu ungefähr 27 Billionen Kilogrammen, wobei aber angenommen wurde, daß auf dem Hectare nicht, wie in dem vorhin berechneten Beispiele 1846,2, sondern noch mehr, nämlich 2000 Kilogramme Kohlenstoff produzirt würden. Der Kohlenstoffgehalt der Atmosphäre würde also hinreichen, um die Vegetation des gesammten Festlandes, bei einer jährlichen Erzeugung von 2000 Kil. Kohlenstoff pro Hectare $\frac{1140}{27} = 42{,}22$ Jahre lang mit Kohlenstoff zu versehen. Hierbei blieb aber außer Acht, daß die großen Wüsten in Afrika und Asien keinen Pflanzenwuchs von Bedeutung besitzen.

Die vorstehende Rechnung beweist zur Genüge, daß die in der Atmosphäre stets vorräthige Menge Kohlensäure den Bedarf der Vegetation vollständig zu befriedigen vermag. Freilich würde in 42 Jahren der vorhandene Kohlenstoff absorbirt sein, allein fast sämmtlicher Kohlenstoff, welcher aus der Atmosphäre in die Pflanze übergeht, kehrt in Folge des Verwesungs-, Verbrennungs- und Athmungsprozesses wieder in dieselbe zurück. Ja es kommen hierzu täglich neue Quantitäten Kohlensäure, denn wie viel Steinkohle, Braunkohle und Torf wird fortwährend aus der Erde gefördert und verbrannt!

Wir haben jetzt noch zu untersuchen, ob die Kohlensäure denn auch wirklich von den Pflanzen aufgenommen und, im bejahenden Falle, in welcher Weise sie assimilirt werde.

4. Geschichte der Entdeckung der Kohlensäure-Assimilation.

In der Mitte des verflossenen Jahrhunderts (1747) beobachtete Bonnet, daß die Blätter einer Weinrebe, welche er in ein mit Brunnenwasser gefülltes Gefäß brachte, Gasblasen entwickelten, sobald die Sonne das Gefäß beschien. Sie kamen theils aus der Blattfläche selbst, theils aber auch von den Stielen und Zweigen. Besonders ging das Gas von der untern Seite der Blätter aus. Mit Sonnenuntergang verloren sich die Blasen; am folgenden Morgen, als die Sonne ihre Strahlen auf das Glas warf, erschienen sie wieder. Dies dauerte einige Tage fort, dann hörte die Exhalation gänzlich auf.

Bonnet hielt das Gas für gewöhnliche Luft, die an den Blättern sich angehängt habe. Er bestrich letztere wiederholt mit einem Pinsel, um die Luft zu entfernen — ein Verfahren, welches er bei einem andern ähnlichen Versuch mit Erfolg angewandt hatte. Trotzdem fand die Gasentwickelung statt. Als

indessen Bonnet das Wasser auskochte und nach dem Erkalten die Blätter abermals hineinbrachte, zeigten sich keine Blasen mehr. Er hauchte jetzt durch ein Rohr Luft in das Wasser; die Gasentwickelung trat alsobald ein.

Bonnet wußte sich von diesen Erscheinungen keine Rechenschaft zu geben. Seine Erklärungen gingen von der Voraussetzung aus, die Blasen enthielten gemeine atmosphärische Luft.

Im Jahre 1771 wies aber Priestley, der Entdecker des Sauerstoffs, nach, daß das Gas, welches die Blätter im Sonnenlicht ausscheiden, reines Oxygen sei.

Sennebier erklärte 1792 den Ursprung des Sauerstoffgases, welches die Pflanzen unter den angegebenen Verhältnissen von sich geben. Er zeigte, daß nur in solchem Wasser, welches Kohlensäure enthält, die Gasexhalation stattfindet; er erklärte hiermit, warum das Aufsteigen der Blasen nach einiger Zeit aufhört; er wies nach, daß die Sauerstoffgasentwickelung dann gerade ihr Ende erreicht, wenn sämmtliche in Wasser gelöste Kohlensäure von den Pflanzen aufgenommen ist. Nun wußte man auch, warum in ausgekochtem Wasser keine Blasen von den Blättern aufsteigen; dieses Wasser war durch das anhaltende Sieden von seiner Kohlensäure befreit worden. Daß die Gasentwicklung von Neuem vor sich ging, wenn Bonnet Luft in das ausgekochte Wasser blies, kann nach Sennebier's Interpretation nicht mehr befremden — die ausgeathmete Luft enthält ja immer Kohlensäure.

Es blieb nun noch zu erklären übrig, warum bei Nacht die Sauerstoffentwicklung stille steht. Ingenhouß, indem er die Versuche Bonnet's sowohl im Hellen, als auch im Schatten wiederholte, kam zuerst darauf, daß im Dunkeln oder des Nachts eine Luftart produzirt werde, welche zur Unterhaltung des Athmungs- und Verbrennungsprozesses untauglich sei.

Der von Bonnet angestellte Versuch beweist, daß die Pflanzen durch ihre Blätter die Kohlensäure aufnehmen. Aber auch durch die Wurzeln kann dieses Gas in die Pflanzen gelangen vermittelst des Wassers, welches von jenen aufgesogen wird und immer Kohlensäure enthält, wenn es auch nur kurze Zeit mit der atmosphärischen Luft in Berührung war. Sennebier ließ kohlensäurehaltiges Wasser von dem unteren Ende eines abgeschnittenen Pfirsichzweiges aufsaugen und fand selbst hier, bei verletzter Pflanze, Entwickelung von Sauerstoffgas.

5. Ein directer Beweis für die Assimilation der Kohlensäure.

Daß der Kohlenstoff in den Pflanzen wirklich von der atmosphärischen Kohlensäure herrühre, brachte schon Saussure durch mehrere directe Versuche zur Evidenz. Diese sollen aber hier nicht angeführt werden, weil dieselben, wegen der Mangelhaftigkeit in der Methode der Analyse organischer Körper zu Zeiten des genannten Naturforschers, doch nicht als entscheidend angesehen

werden können. Boussingault, dem der ganze Apparat der heutigen Wissenschaft zu Gebote steht, hat die Saussure'schen Versuche wieder aufgenommen. Er säete fünf Erbsen, zusammen 1,211 Gramme wiegend, in Thon, welcher zur Entfernung aller organischen Reste gebrannt und dann gepulvert und frisch geglüht war. Nach 30 Tagen waren die Schoten reif. Die davon geerndteten Erbsen nebst dem Kraut und den Stengeln wogen trocken und nach Abzug der Asche 4,41 Gramme. Boussingault untersuchte ihren Gehalt an Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff. Er trocknete hierauf andere Erbsen, die genau von derselben Beschaffenheit, als die gesäeten, waren und bestimmte ihre Asche; auf diese Weise fand er, daß 1,211 Gramme frischer Körner nach Abzug des Wassers und der Asche 1,072 Gramme wiegen mußten. Auch von diesen stellte er den Gehalt an Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff fest. Die Berechnnng ergab:

		Kohlenstoff	Sauerstoff	Wasserstoff	Stickstoff
Samen zur Saat	1,072	0,515	0,069	0,442	0,046
Erndte	4,441	2,392	0,289	1,645	0,115
Gewinn durch die Cultur	3,369	1,877	0,220	1,203	0,069

Es waren also 1,877 Grammen Kohlenstoff aufgenommen worden, die nur von der in der Atmosphäre enthaltenen Kohlensäure herrühren konnten.

6. Geschwindigkeit der Kohlensäure-Absorption.

Ueber die Geschwindigkeit, mit welcher die Pflanzen der Luft die Kohlensäure entziehen, besitzen wir Nachricht durch einen Versuch Boussingault's. Dieser leitete einen mit zwanzig Blättern versehenen Zweig eines Weinstockes in einen Ballon. Durch eine geeignete Vorrichtung konnte er die äußere Luft in den Ballon treten lassen und die ihrer Kohlensäure beraubte wieder durch neue ersetzen. Die Luft außerhalb des Apparates enthielt 0,0004 Kohlensäure; dagegen diejenige, welche mit den Blättern der Weinrebe in Berührung gewesen war, nur 0,0001. Es war in vier Stunden 60 Litern Luft die Kohlensäure bis zu diesem geringen Rest entzogen worden.

Als Boussingault den Versuch bei Nacht anstellte, fand er keine Verminderung des Kohlensäuregehaltes der Luft.

7. Ein Uebermaß an Kohlensäure schadet der Vegetation.

Welch' wohlthätigen Einfluß die Kohlensäure auf die Vegetation ausübt, ergibt sich sehr deutlich aus folgendem sehr sinnreichen Versuch von Saussure. Dieser leitete zwei Zweige einer lebenden Rainweide (Ligustrum vulgare) in zwei Ballone; in einen der letzteren brachte er gebrannten Kalk, welcher bekanntlich die Kohlensäure mit großer Begierde an sich zieht. Nach drei Monaten waren die Blätter des Zweigs, welcher sich in dem mit Kalk versehenen Ballon befand, abgestorben und abgefallen; der andere Zweig hatte sich erhalten.

Man sollte nach den Resultaten dieses Versuchs vermuthen, die Massezunahme einer Pflanze müsse um so größer sein, je mehr Kohlensäure die Luft enthalte, in der sie sich befindet. Die Saussure'schen Versuche bestätigen diese Vermuthung keineswegs. Unser Gewährsmann fand, daß in einer Luft, die zum zwölften Theil Kohlensäure enthielt, das Wachsthum zwar freudiger war, als in der gewöhnlichen Atmosphäre, daß dagegen die Pflanzen in $^1/_4$ Kohlensäure nur zehn Tage, in $^1/_2$ dieses Gases nur sieben Tage lebten, nachher aber abstarben und verwelkten.

Diese Versuche wurden im Sonnenlicht angestellt; in schwachem oder zerstreutem Licht wirkte ein Uebermaß von Kohlensäure noch weit verderblicher. In $^1/_4$ Gas erhielten sich die Pflanzen nur 6 Tage, in $^1/_2$ nur 4 Tage.

Es erklärt sich nun, warum Pflanzen an solchen Orten, welche sehr reich an Kohlensäure sind, nicht wohl vegetiren können. So erzählt Liebig von den Grünschwalheimer Wiesen in der Wetterau, das Gras wachse dort kümmerlich, es zeige eine gelbe Farbe; dies rühre unzweifelhaft von der Gegenwart einer großen Menge Kohlensäure her. Wenn man ein Loch von 20—25 Fuß Tiefe bohre, so entwickle sich daraus ein Strom kohlensauren Gases, dessen Geräusch beim Ausströmen man auf mehrere Schritte hin deutlich höre.

In dem eben erzählten Falle war die Kohlensäure-Entwicklung aus dem Erdinnern eine ungewöhnlich reichliche; die Kohlensäure, welche ihren Ursprung dem in Zersetzung begriffenen Humus (Laub, Moos, Unkräutern, den abgefallenen dürren Baumzweigen) verdankt, tritt wohl nie in solchem Maße auf, daß sie der Vegetation schädlich werden könnte.

Den Kohlenstoffgehalt eines zehnjährigen Laubabfalls haben wir vorhin beispielsweise zu 3848 Kilogrammen berechnet; letztere erfordern, um Kohlensäure zu bilden, 10261 Kil. Sauerstoff, welche einen Raum von 7210 Kubikmetern einnehmen. Die Luftmasse in einem Wald von 1 Hectare (= 10000 □ Metern) Fläche und 25 Metern Baumhöhe enthält 250000 Kubikmeter; da nun die Kohlensäure den nämlichen Raum einnimmt, wie der Sauerstoff, welcher zu ihrer Bildung verwendet worden ist, so würde die den obigen 3848 Kil. Kohlenstoff entsprechende Kohlensäure dem Volumen nach $\frac{7210}{250000} = 0{,}0029$ der Luftmasse des Waldraumes betragen. Addiren wir diese Zahl zu dem mittleren Kohlensäuregehalt der Luft (= 0,0005), so erhalten wir 0,0034. Wenn also der Kohlenstoffgehalt eines zehnjährigen Laubabfalls sich auf einmal in Kohlensäure verwandelte, so würde letztere nur 0,0034 von dem Volumen der in dem Waldraum enthaltenen Luft ausmachen. Da nun nach dem Versuche Saussure's $\frac{1}{12} = 0{,}08333$ Kohlensäure der Vegetation noch zuträglich ist, so folgt, daß wir unbedenklich Alles aufbieten können, um den Humusreichthum des Waldes zu vermehren, und daß alle Kohlensäure, welche sich aus dem Humus entwickelt, der Waldvegetation niemals schädlich sein kann, sondern dieselbe begünstigen muß.

8. Bei Nacht scheiden die Pflanzen Kohlensäure aus und nehmen Sauerstoff auf.

Es ist schon angegeben worden, daß die Pflanzen die Kohlensäure nur im Sonnenlicht zersetzen. Im Schatten, oder im Dunkel der Nacht findet die Aufnahme der Kohlensäure durch die Blätter nicht mehr statt; es zeigt sich vielmehr, was sehr merkwürdig ist, der umgekehrte Prozeß — die Pflanze scheidet Kohlensäure aus. Man weiß, daß es der Gesundheit nachtheilig ist, in Zimmern die Nacht zuzubringen, in welchen Blumen stehen; es ist die ausgestoßene Kohlensäure, welche einen schädlichen Einfluß auf den thierischen Organismus ausübt.

Verschiedene Erklärungen sind über die Ursache der nächtlichen Ausscheidung von Kohlensäure gegeben worden. Eine sehr verbreitete ist diejenige, welche diesen Prozeß mit scheinbar ähnlichen Vorgängen des animalischen Lebens in Analogie zu bringen gesucht hat.

Liebig war wohl der erste, welcher den wahren Grund dieses auffallenden Verhaltens fand. Da die Pflanzen durch die Wurzeln auch in der Dämmerung und des Nachts Kohlensäure aufnehmen können, so ist es ganz natürlich — sagt Liebig — daß dieses Gas gleich dem verdunstenden Wasser abgesondert wird. Bei Tage wird die Kohlensäure in der Pflanze zurückgehalten; Nachts, wenn der Assimilationsprozeß aufhört, ist keine Ursache vorhanden, welche dem Austreten der Kohlensäure durch die Poren der Blätter ein Hinderniß entgegensetzen könnte. Deßhalb finden wir auch die Atmosphäre bei Nacht kohlensäurereicher, als bei Tag.

Es muß hier noch einer andern, mit Bestimmtheit zuerst von Saussure nachgewiesenen Erscheinung gedacht werden, die mit der nächtlichen Kohlensäureexhalation in Verbindung gebracht worden ist — wir meinen die Aufnahme von Sauerstoff, welche gleichzeitig neben dem Entweichen der Kohlensäure von Statten geht. Liebig ist wieder der erste gewesen, welcher die Ursache der Sauerstoffabsorption genügend erklärt hat. Bei Nacht, sagt er, steht der Vegetationsact in so weit stille, als die Pflanzen die Assimilation der Kohlensäure ausgesetzt haben; die Gewächse verhalten sich dann gleichsam wie abgestorben und fallen der Wirkung des jeden Organismus angreifenden Sauerstoffs anheim. Es ist bekannt, daß der indifferente Stickstoff, das Wasserstoffgas, daß eine Menge anderer Gase eine eigenthümliche, meist schädliche Wirkung auf die lebende Pflanze ausüben. Ist es nun denkbar, daß eines der kräftigsten Agentien, der Sauerstoff, wirkungslos auf eine Pflanze bliebe, so bald sie sich in dem Zustand des Lebens befindet, wo einer ihrer eigenthümlichen Assimilationsprozesse aufgehört hat? — Man weiß, daß mit der Abwesenheit des Lichtes die Zersetzung der Kohlensäure ihre Grenze findet. Mit der Nacht beginnt ein rein chemischer Prozeß, in Folge der Wechselwirkung der Luft auf die Bestandtheile der Blätter, Blüthen und Früchte. Dieser Prozeß hat mit dem organischen Lebensprozeß in der Pflanze nicht das geringste gemein, denn

er tritt in der todten Pflanze ganz in derselben Form auf, wie in der lebenden. — Es läßt sich mit der größten Leichtigkeit und Sicherheit aus den bekannten Bestandtheilen der Blätter verschiedener Pflanzen voraus bestimmen, welche davon den meisten Sauerstoff im lebenden Zustand während der Abwesenheit des Lichtes absorbiren werden. Die Blätter und grünen Theile aller Pflanzen, welche flüchtige Oele enthalten, die sich durch Aufnahme des Sauerstoffs in Harz verwandeln, werden mehr Sauerstoff aufnehmen, als andere, welche frei davon sind. Andere wieder, in deren Safte sich die Bestandtheile der Galläpfel befinden oder stickstoffreiche Materien, werden mehr Sauerstoff aufnehmen, als die, worin diese Bestandtheile fehlen. Die Beobachtungen Saussure's sind entscheidende Beweise für dieses Verhalten; während die Agave americana mit ihren fleischigen geruch- und geschmacklosen Blättern nur 0,3 ihres Volums Sauerstoff in 24 Stunden im Dunkeln absorbirt, nehmen die mit flüchtigem verharzbarem Oel durchdrungenen Blätter der Pinuus Abies die 10 fache, die gerbsäurehaltigen der Quercus Robur die 14 fache, die balsamigen Blätter der Populus alba die 21 fache Menge des von der Agave americana eingesaugten Sauerstoffs auf.

9. Die Wurzeln der Pflanzen müssen mit Sauerstoffgas in Berührung sein.

Für die Wurzeln der Gewächse scheint das Sauerstoffgas eine unerläßliche Bedingung des Bestehens zu sein; es wird von denselben aufgenommen — zu welchem Zwecke — ist unbekannt. Saussure sammelte Luft, welche mit Wurzeln in Berührung gewesen war, und fand sie sauerstoffärmer, als die gewöhnliche. Er hat aber auch den Beweis dafür geliefert, daß die Pflanzen zu Grunde gehen, wenn ihre Wurzeln nicht mit Sauerstoff in Berührung sind. Er nahm mehrere Roßkastanienpflänzchen mit den Wurzeln aus der Erde und steckte letztere durch den engen Hals einer gläsernen Flasche, deren Inneres mit destillirtem Wasser bis zu $1/3$ angefüllt war. In den Raum über dem Wasser wurde bei drei verschiedenen Gefäßen dieser Art Kohlensäure, Stickstoff und Wasserstoffgas gebracht; die untere Oeffnung der Flaschen war durch Quecksilber gesperrt. Drei andere Pflanzen von Aesculus wurden in ähnliche Gefäße, deren oberer Raum indessen mit gewöhnlicher Luft angefüllt war, gebracht. Die Pflanzen, deren Wurzeln mit Kohlensäure umgeben waren, starben nach sieben oder acht Tagen, die in dem Wasserstoff und Stickstoff gingen etwas später, nach 13 oder 14 Tagen, aber gleichzeitig zu Grunde. Die Pflanzen, deren Wurzeln mit gewöhnlicher Luft in Berührung waren, erhielten sich drei Wochen, zu welcher Zeit Saussure den Versuch beendigte, vollkommen frisch.

Diese Beobachtungen erklären zur Genüge, warum man das Begießen der Gartenbeete im Sommer ununterbrochen fortsetzen muß, wenn man es einmal begonnen hat und man nicht Gefahr laufen will, die angebauten Gewächse zu verlieren; sie erklärt, warum Pflanzen in gar nicht genetztem Lande

sich unter Umständen länger erhalten können, als solche in einem Boden, den man nur eine Zeit lang begoß. Es bildet sich nämlich sogleich nach dem ersten Bespritzen des Beetes eine harte Rinde, welche die Luft verhindert, in die Tiefe bis zu den Wurzeln zu dringen; diese muß von Zeit zu Zeit erweicht werden, damit die Luft wieder Zugang erhält. Das fortgesetzte Begießen hat also nicht blos den Zweck, die Pflanzen mit Feuchtigkeit zu versehen, sondern auch den eben so wichtigen, ihren Wurzeln Sauerstoff zuzuführen. Auf dem Felde, welches man nicht begießen kann, erzeugt sich diese Rinde oft nach Platzregen; sie ist die Ursache mancher Krankheiten der Gewächse. Wenn man die Erdrinde mit der Hacke oder mit starken Rechen zerkleinert, so erreicht man die Lockerung des Bodens nachhaltig und eben so gut, als durch fortgesetztes Begießen.

Füllt man über den Wurzeln eines Baumes Erde auf, so wird der Sauerstoff abgeschnitten, und der Baum geht zu Grunde, wenn er nicht das Vermögen besitzt, eine hinreichende Anzahl von neuen Wurzeln aus dem mit Erde bedeckten Theile des Schaftes zu entwickeln. Blos durch Auffüllen von Erde wurde der bekannte schöne Tulpenbaum zu Heidelberg zum Absterben gebracht; die nämliche Erscheinung beobachtete der Verf. an mehreren großen Roßkastanien auf dem Kirchhof zu Wimpfen im Thal; nachdem man diesen Platz planirt hatte, gingen die schönen Stämme, welche die einzige Zierde des Platzes bildeten, binnen Jahresfrist zu Grunde.

10. Ursprung des Wasserstoffs und des Sauerstoffs in der Holzfaser.

Wir reden jetzt nicht von der Saftfeuchtigkeit, welche etwa 40—50 % von dem Gewichte des frisch geschlagenen Holzes ausmacht, sondern von dem Wasserstoff und Sauerstoff, welche neben Kohlenstoff und Stickstoff integrirende Bestandtheile der Holzfaser sind.

Der Wasserstoff des Holzes stammt unzweifelhaft zum größten Theil von dem Wasser, denn wir kennen keine andere Wasserstoffverbindung in der Natur, welche allerwärts in so reichlichem Maße vorkäme, um die Vegetation vollständig mit Wasserstoff versehen zu können. — Boussingault behauptet zwar, Kohlenwasserstoffgas in der Luft nachgewiesen zu haben, auch sollen einige Vulkane Amerika's reines Wasserstoffgas ausstoßen; aber einmal ist es unerwiesen, ja vom Wasserstoffgas höchst unwahrscheinlich, daß diese Gase assimilirbar sind, zum andern ist ihre Menge so unbedeutend, daß wir hier gar kein Gewicht auf dieselben legen können. Auch der Wasserstoff des Ammoniaks kann nicht hinreichen, um den Pflanzen allen Wasserstoff zu liefern. Wir fanden früher, daß 1 Hectare Kiefernwald 218,2 Kil. Wasserstoff und 33,9 Kil. Stickstoff produziren könne. Diesen 33,9 Kilogr. Stickstoff entsprechen nun, wenn man ihn vom Ammoniak ableitet, 7,2 Kilogr. Wasserstoff (das Ammoniak enthält 21,39 % Wasserstoff), es fehlen also noch 211 Kil. Wasserstoff, welche nur von dem Wasser herrühren können.

Der Wasserstoff ist, wie schon oben bemerkt wurde, ein nie fehlender Bestandtheil der Pflanzenfaser; er kommt ferner in den organischen Säuren und Basen vor. Ebenso ist der Sauerstoff sehr verbreitet, doch fehlt er in einigen Oelen.

Um uns eine Vorstellung von der Assimilation dieser beiden Stoffe zu verschaffen, wollen wir uns zuerst an die Zusammensetzung der Cellulose halten und nachher erst die Holzfaser im Ganzen betrachten.

Die Formel der Cellulose ist $C_{12}\ H_{10}\ O_{10}$.

Den Kohlenstoff der Cellulose kann man ableiten aus 12 Aequivalenten Kohlensäure und den Wasserstoff aus 10 Aequivalenten Wasser. Für den Fall, daß der Sauerstoff des Wassers in der Cellulose bleiben soll, müssen $2.12 = 24$ Aeq. Sauerstoff der Kohlensäure austreten. Wird aber der Sauerstoff des Wassers nicht assimilirt, sondern der von der Kohlensäure herrührende in die Zusammensetzung der Cellulose aufgenommen, so müssen

10 Sauerstoff des Wassers und
$24 - 10 = 14$ „ der Kohlensäure
in Summe 24 Sauerstoff

entweichen; es wird also in beiden Fällen die Kohlensäure, freilich in dem einen gänzlich, in dem andern nur theilweise, zerlegt.

Fassen wir aber die Holzfaser als Ganzes, also die Cellulose mit dem Lignin auf, so bleiben die Verhältnisse die nämlichen, nur ändern sich die Zahlenwerthe. Sieht man von dem Stickstoff und dem freien Wasserstoff ab, so kann (nach Gay-Lussac) die Zusammensetzung der Holzfaser durch die Formel $C_{36}\ H_{22}\ O_{22}$ ausgedrückt werden. Nehmen wir an, sämmtlicher Sauerstoff rühre vom Wasser her, so werden 72 Aeq. Sauerstoff von der Kohlensäure frei, gehen wir aber davon aus, daß das Wasser zerlegt werde, so müssen O_{22} vom Wasser und noch O_{50} von der Kohlensäure, also zusammen 72 Aeq. Sauerstoff ausgeschieden werden.

Es ist viel darüber gestritten worden, welcher von diesen beiden Ansichten der Vorzug zu geben sei. Man hat zur Unterstützung der zweiten Hypothese angeführt, die Kohlensäure sei schwieriger zerlegbar, als das Wasser. Allein dieses Beweismittel ist der anorganischen Chemie entnommen und kann auf die Vorgänge in der lebenden Pflanze keine Anwendung finden. Da in den beiden Fällen, welche man unterstellen kann, gleichviel Sauerstoff ausgeschieden wird, so ist es wahrscheinlich unmöglich, zu entscheiden, ob die eine oder die andere Annahme richtig sei. Die Lösung dieser Streitfrage ist übrigens practisch ohne alles Gewicht.

Ebenso ist man über das Wesen der Kraft, welche die Zerlegung der Kohlensäure, oder, wenn man lieber will, des Wassers zu Stande bringt, noch vollständig im Unklaren. Die Abscheidung des Sauerstoffs wird nicht durch das Sonnenlicht allein bewirkt, denn wenn man Kohlensäure und Wasser in einem Glasgefäß der Sonne aussetzt, so findet die Desoxydation nicht

statt. Aber auch die organische Kraft der lebenden Pflanze vermag den Trennungsprozeß nicht für sich allein herzustellen, es ist hierzu die physikalische Wirkung des Sonnenlichts nöthig.

11. Ursprung des Stickstoffes.

Die Nachweisung des Stickstoffs im Holze, namentlich seine quantitative Bestimmung, gehört wesentlich der neueren Zeit an; vorzüglich hat sich Chevandier um diesen Gegenstand verdient gemacht. In den Samen der Pflanzen war der Stickstoff schon früher aufgefunden worden, auch hatte Payen gezeigt, daß der Saft vieler Gewächse, z. B. der Linde, des Feigenbaums, der Schwarzpappel, des Weinstocks bei der trockenen Destillation ammoniakalische Dämpfe liefere. Zu der nämlichen Entdeckung war Liebig bezüglich des Ahornsaftes gelangt, als er diesen auf seinen Zuckergehalt untersuchte. Die Menge des Ammoniaks, welche der Saft beim Abdampfen entwickelte, war so beträchtlich, daß Liebig anfangs vermuthete, es sei durch die Bosheit eines Menschen Urin in die zum Auffangen des Saftes unter die Bäume gestellten Gefäße gekommen, bis ihn sorgfältige Beobachtungen lehrten, daß der Stickstoffgehalt des Saftes ein natürlicher sei. Uebrigens ist es bekannt, daß der zur Zuckerbereitung bestimmte Ahornsaft sehr schnell versotten werden muß; es geschieht dies zu dem Zwecke, um die stickstoffhaltige Substanz unwirksam zu machen, damit sie nicht eine Gährung des Zuckers hervorrufe.

Chevandier wurde durch einen eigenthümlichen Zufall auf die Wirkungen aufmerksam gemacht, welche die stickstoffhaltige Substanz im Holze selbst hervorbringt. Lassen wir ihn mit seinen eigenen Worten reden: „Bei meinen ersten Analysen (welche die Untersuchung der elementaren Bestandtheile des Holzes zum Zwecke hatten) arbeitete ich nicht mit getrocknetem Holze. Ich beabsichtigte nur, die Menge von Kohlenstoff, freiem Wasserstoff und Stickstoff zu bestimmen und zu diesem Zwecke analysirte ich die frischen Hölzer kurze Zeit nach der Fällung. Ich bemerkte alsbald eine constante und fortschreitende Veränderung in dem Gehalt an Wasserstoff und Kohlenstoff bei einem und demselben Holze, welches ich in Form von Sägespähnen in eine Röhre verschlossen hatte. Diese Veränderung kann man nur allein einer geistigen Gährung zuschreiben. Sie war leicht zu erkennen, wenn auch wegen der geringen Menge der in Gährung begriffenen Materie nicht anders als durch den Geruch zu bestimmen."

„Uebrigens erklärt sich diese Gährung leicht durch die gleichzeitige Anwesenheit einer zuckerhaltigen und einer stickstoffhaltigen Substanz im Holze. Letztere vertritt die Stelle des Ferments."

„Um diesen merkwürdigen Umstand auch durch Versuche im Großen festzustellen, ließ ich in einer Sägemühle, wo die Bäume alsbald, nachdem sie den Wald verlassen hatten, geschnitten wurden, Spähne von entrindeten Buchen,

Hainbuchen und Eichen sammeln und brachte sie in einigen Fässern in einen etwas warmen Keller. Nach drei Wochen hatte sich die geistige Gährung entwickelt; bevor ich ihr freien Lauf ließ, gab ich etwas Wasser hinzu und destillirte dann bei schwachem Feuer. Nach mehrmaligem Rectificiren erhielt ich eine kleine Menge einer farblosen, stark nach Alkohol riechenden Flüssigkeit."

Vor noch nicht langer Zeit war man der Ansicht, der Stickstoff, welchen die Analyse des Holzes zum Vorschein bringt, gehöre nur den im Saft enthaltenen Proteinsubstanzen an, bis genauere Untersuchungen nachwiesen, daß er auch dem festen Holze und zwar in diesem der incrustirenden Materie zukomme. — Die Ansicht von Blondeau de Carolles, daß der Stickstoff nicht in chemischer Verbindung, sondern in freiem Zustande vorhanden sei und sich im Innern der Schläuche befinde, um sie ausgedehnt zu erhalten, findet ihre Widerlegung sowohl in der bekannten starren Beschaffenheit der Holzgefäße, als auch in dem oben angeführten Versuche Chevandiers. Freier Stickstoff ist unfähig, eine Gährung, wie sie von Chevandier beobachtet wurde, einzuleiten.

Obgleich das Verhältniß, in welchem die verschiedenen Baumtheile hinsichtlich ihres Stickstoffgehaltes zu einander stehen, noch nicht gehörig durch Untersuchungen festgestellt ist, so weiß man doch, daß alle diejenigen Organe, welche einer Vermehrung fähig sind, einen größeren Reichthum an Stickstoff besitzen, als die bereits fertig gebildeten. Zu jenen gehören namentlich die Cambiumzellen.

Woher stammt nun aber der Stickstoff des Holzes?

Man war früher ziemlich allgemein der Ansicht, er werde direct aus der Luft genommen, von der man ja weiß, daß sie aus Sauerstoff und Stickstoff besteht; man glaubte, die Pflanzen besäßen das Vermögen, den gasförmigen Stickstoff sich anzueignen.

Diese Annahme ist unrichtig, wie schon Saussure durch Versuche bewiesen hat. Er sagt:

„Ich habe die Vegetation des Epilobium hirsutum mit vieler Sorgfalt sowohl im reinen Stickgas, als in der atmospärischen Luft verfolgt und dabei die Verfahrungsart Priestleys, die er für diesen Versuch vorschreibt, angewandt. Ich habe die Experimente noch viel länger fortgesetzt, allein ich habe niemals eine Verminderung des Stickgases wahrnehmen können, wenn ich das Sauerstoffgas, was sich daraus gebildet hatte, abzog. Das Nämliche erfolgte bei allen übrigen Gewächsen, die ich den nämlichen Proben unterwarf. Die Pflanzen verdichten folglich das Stickgas nicht merklich. Die Versuche von Woodhouse und Sennebier bestätigen diese Behauptung."

Wir haben uns nach einer andern Quelle des Stickstoffs umzusehen. Welches sind die in der Natur vorkommenden Verbindnngen, von welchen die Pflanzen den Stickstoff beziehen könnten?

Da die Holzfaser, wie wir wissen, Stickstoff enthält, so ist klar, daß

die Waldbäume dem Humus Stickstoff entnehmen können. In der Mehrzahl der Fälle wird der Stickstoff des verwesenden Baumlaubes, des Mooses und der dünnen Zweige, welche von den Bäumen abfallen, sich in der Form von Ammoniak entwickeln, viel seltener wird sich Salpetersäure bilden.

Nimmt man den Stickstoffgehalt der trockenen Holzfaser mit Chevandier zu 1% im Mittel an, so würden die 1000 Kilogramme, welche das Gewicht eines 10jährigen Abfalls von Buchenlaub ausmachen, nur 74 Kilogramme Stickstoff enthalten, gerade so viel, um einen Kiefernbestand etwas über zwei Jahre mit Stickstoff zu versehen. Erhöht man aber selbst den Stickstoffgehalt des Laubes auf 5%, so würde er doch nur auf 11 Jahre ausreichen.

Die Reste von Animalien sind nicht so arm an Stickstoff, als diejenigen der Vegetabilien, allein erstere kommen im Walde nur in unbedeutender Quantität vor. Der Koth der Thiere, welche, wie das Wild, im Walde leben, ist kaum in Anschlag zu bringen; das Nämliche gilt von den Leibern der Insecten und andern kleinen Thiere, welche im Walde verwesen.

Im Boden ist also nicht die Quelle des Stickstoffs zu suchen, sie wird ebenso, wie bei der Kohlensäure, in der Atmosphäre liegen, wenn es auch ausgemacht ist, daß der freie Stickstoff der Luft selbst zur Ernährung der Pflanzen nicht benutzt werden kann.

Wir haben früher (S. 166) eine Stickstoffverbindung kennen gelernt, welche sich überall in der Atmosphäre findet — wir meinen das Ammoniak. Wenn auch, nach Gräger, in der Luft nur $\frac{1}{100000}$ Ammoniak enthalten sein sollte, so macht dies doch für die ganze Atmosphäre etwas über 14 Billionen mit einem Stickstoffgehalt von etwas mehr als 10 Billionen Kilogrammen aus, während, bei einer Stickstoffproduction von 34 Kil. für den Hectare, das ganze Festland jährlich noch nicht ½ Billion Kilogramme jährlich verbraucht. — Gasförmig, wie die Kohlensäure, vermag das Ammoniak sich überall hin mit Leichtigkeit zu verbreiten, wodurch eine locale Absorption desselben schnell wieder ausgeglichen werden kann. Der Wind führt das Ammoniak von den tiefsten Thälern bis auf die Spitzen der höchsten Berge, doch schon allein nach dem Gesetz der Diffusion der Gase müßte es an jeden Ort im Luftocean dringen.

Wie wohlthätig das Ammoniak auf die Vegetation einwirkt, wies Davy durch folgenden Versuch nach. Er leitete dieses Gas, aus gährendem Miste entwickelt, unter die Wurzeln eines Rasens und bemerkte bald eine auffallende Beschleunigung des Wachsthums.

Der günstige Einfluß, den thierische Abfälle auf die Gewächse äußern, beruht auf dem Ammoniak, welches bei der Fäulniß dieser Substanzen sich entwickelt. Graf Chaptal erzählt: „Ich sah vor dreißig Jahren einen Wollenhändler von Montpellier, dessen Waschhaus mitten in einem Felde angelegt war, wovon er einen großen Theil in einen Garten umgewandelt hatte; er gebrauchte kein anderes Wasser zur Begießung seiner Gemüse, als das Waschwasser seiner Fabrik, und Jedermann erstaunte über die Schönheit seiner Ge-

wächse. — Die Genueser sammeln im südlichen Frankreich alle Abgänge der Wollenweberei, um sie an dem Fuße ihrer Olivenbäume faulen zu lassen." Ebenso, wie die wollenen Lumpen, wirken die Hornspähne.

Den Pflanzen wird das Ammoniak der Atmosphäre hauptsächlich durch das Regenwasser zugeführt; auch besitzt die Ackererde die Eigenschaft, dieses Gas zu absorbiren. Hierin zeichnet sich namentlich der Mergel aus; vom Thone weiß man, daß der eigenthümliche Geruch, den er beim Anhauchen entwickelt, entbundenem Ammoniak zuzuschreiben ist. Auch der Schnee verdichtet viel Ammoniak an seiner Oberfläche.

Die Salpetersäure kann bei weitem nicht in dem Maße, wie das Ammoniak, als allgemeine Quelle des Stickstoffs angesehen werden, denn sie kommt bei weitem nicht so häufig in der Natur vor. Liebig fand unter 77 Regenwassern nur 19 salpetersäurehaltig. (S. 167). Von den zum Theil günstigen Resultaten, welche man bei der Düngung mit salpetersauren Salzen erhielt, weiß man noch nicht, ob sie der Säure, oder der Basis in diesen Salzen zuzuschreiben seien.

Da die Luft das Ammoniak in so geringer Menge enthält, so ist es wahrscheinlich, daß jede außergewöhnliche Zufuhr von Ammoniak die Erträge des Bodens steigern werde. Ob aber nicht, wie bei der Kohlensäure, ein Maximum bestehe, bis zu welchem die Ammoniakdüngung noch vortheilhaft für die Gewächse sei, darüber liegen noch keine directen Untersuchungen vor. Der Verf. hatte öfters Gelegenheit, zu bemerken, daß junge Buchen an solchen Stellen, wo der Koth von Rindvieh in großer Quantität angehäuft war, ausgingen. (District Silberberg bei Oberramstadt im Odenwalde).

Elftes Buch.

Chemischer Einfluß des Bodens.

1. Aufzählung der anorganischen Bestandtheile der Holzgewächse.

Wir haben bereits an einem andern Orte erwähnt, daß die Holzgewächse neben Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff noch gewisse anorganische Bestandtheile enthalten. Diese sind Kali, Natron, Kalk, Bittererde, Thonerde, Eisen, Mangan, Schwefel, Phosphor, Kieselsäure, auch wohl zuweilen Fluor, Jod, Brom und Kupfer.

In der lebenden Pflanze kommen die Basen meist an organische Säuren gebunden vor. Bei der Einäscherung zersetzen sich aber die letztern; es entsteht Kohlensäure, und diese verbindet sich mit den freigewordenen Basen. Daher rührt es denn, daß die Asche des Holzes, der Blätter ꝛc. so viele kohlensaure Salze enthält.

Den Schwefel und Phosphor findet man in der Asche immer in Verbindung mit einer Base als Schwefelsäure und Phosphorsäure vor; es ist aber wahrscheinlich, daß diese beiden Stoffe als Säuren im Holze nur in ganz geringer Menge vorkommen und sich erst bei der Einäscherung durch Aufnahme von Sauerstoff aus den zugehörigen Metalloiden erzeugen. Schwefel und Phosphor sind Bestandtheile der im Saft vorkommenden Proteinverbindungen, natürlich müssen sie aber auch der incrustirenden Materie angehören, weil diese ja aus Saftablagerungen entstanden ist.

Das Chlor ist in der Pflanze gewöhnlich an Natrium oder Kalium gebunden. Die Kieselsäure kommt entweder in Verbindung mit Basen (meist Kali oder Natron), oder auch frei vor. Im letztgenannten Zustand bemerkt man sie im Buchenlaub; äschert man dieses ein, so zeigen sich viele kleine Schüppchen, die sich schon mit bloßem Auge recht gut unterscheiden lassen, denn sie besitzen oft 1—2 Mm. Durchmesser. Diese Schüppchen sind nichts anders als freie Kieselsäure, welche vorzüglich in den Blattrippen abgelagert war.

Ob die Thonerde wirklich einen Bestandtheil der Holzasche ausmache, ist noch nicht gehörig constatirt; gewiß ist aber, daß der Gehalt an Thonerde, den viele Aschenanalysen angeben, entweder von Staub, oder nur von

den Tiegeln herrührt, in denen die Asche geglüht wurde. Am häufigsten zeigen einen Gehalt an Thonerde diejenigen Untersuchungen, welche sich zugleich auf die Rinde erstrecken, wahrscheinlich deßhalb, weil es schwierig, wenn nicht unmöglich ist, diese von anhängenden Staubtheilchen zu befreien. Erdmann konnte in ganz reinen Stücken von Buchs- und Ebenholz keine Spur Thonerde entdecken, ebenso wenig in reinen Samenaschen (Schubert). Gegen ein reichliches Vorkommen der Thonerde in den Pflanzen spricht schon der Umstand daß die löslichen Thonerdesalze in der Natur sehr selten sind.

Auffallend ist es, daß Fürst von Salm-Horstmar in der Asche des Lycopodium complanatum 38,5 % Thonerde gefunden haben will, während die Asche von Zweigen eines Juniperus communis, welcher unmittelbar daneben gewachsen war, in 0,35 Grammen noch kein Milligramm enthielt. Dieses verschiedene Vorkommen glaubte er daraus erklären zu können, daß die Wurzeln mancher Pflanzen eine Säure ausscheiden, welche die Thonerde löslich macht, und wirklich fand er, daß die ganz frischen feineren Wurzeln des Lycopodium complanatum, frei von Erde auf feuchtes Lakmuspapier gelegt, dasselbe röthen. Nach John's Analyse enthält diese Pflanze eine beträchtliche Menge essigsaurer Thonerde, und in Norwegen benutzt man dieselbe sogar als Beize zum Blaufärben mit Blauholz (Schubert).

Vielleicht findet sich Fluor, Jod, Brom und Kupfer in allen Aschen; die Quantität dieser Stoffe ist aber so klein, daß sie keine Beachtung, wenigstens nicht für unsern Zweck, verdienen.

2. Vertheilung der anorganischen Stoffe innerhalb der einzelnen Theile der Holzgewächse.

Einäscherungen verschiedener Theile der Holzgewächse haben das Resultat geliefert, daß der Gehalt an anorganischen Stoffen nicht durch die ganze Holzpflanze hin der nämliche bleibt, daß er dagegen in jedem dieser Theile ziemlich constant ist.

Stellen wir zuerst gleiche Gewichtstheile des vollkommen getrockneten Holzes zusammen, so bemerken wir, daß der Aschegehalt des rindenfreien Holzes von dem Wurzelstock aus bis nach der Baumspitze zunimmt, und daß die jünger gebildeten Organe reichlicher mit den Aschebestandtheilen versehen sind, als die älteren. So hat also z. B. der Splint mehr Asche, als das Kernholz, die jungen Zweige haben mehr, als das Stammholz. Die Blätter enthalten bei weitem mehr Asche, als das eigentliche Holz; sie werden aber noch übertroffen von der Rinde, die unter allen Theilen des Baumes den größten Aschegehalt besitzt. Diese Sätze finden ihren Beleg durch die nachstehenden Analysen von Saussure.

1000	Theile	Eichenstammholz	enthalten	2,0	Theile	Asche
„	„	Eichensplint	„	4,0	„	„
„	„	Eichenstammrinde	„	60,0	„	„

1000 Theile	Eichenzweigholz	enthalten	4,0	Theile	Asche
„ „	Eichenzweigrinde	„	60,0	„	„
„ „	Eichenblätter (Mai)	„	53,0	„	„
„ „	„ (September)	„	55,0	„	„

Chevandier äscherte die Spähne von quer durchsägtem Holz ein und fand den Aschegehalt in Prozenten der ganz trockenen Materie

	Prügelholz von jungen Stämmen	Scheitholz	Prügelholz von Aesten	Reisholz
Buche	1,02	0,99	1,26	1,77
Eiche	1,45	1,58	2,00	1,82
Hainbuche	1,29	1,69	1,84	2,08
Birke	0,69	0,81	1,09	1,32
Aspe	1,40	1,60	2,35	2,98
Erle	1,35	1,41	„	2,02
Weide	2,11	1,90	„	5,51
Fichte	0,98	0,89	1,34	1,60
Kiefer	0,82	1,22	0,91	1,38
Im Mittel	1,23	1,34	1,54	2,27

Hiernach enthielte also das Prügelholz von jungen Stämmen weniger Asche, als dasjenige von Aesten, was sich vielleicht durch die größere Rindenmasse der letztern erklärt. Junge Stämme geben erst dann wenig Asche, wenn sie bereits eine solche Stärke erlangt haben, daß sie zu Prügelholz taugen; so lange sie noch in das Reisholz gehauen werden, liefern sie verhältnißmäßig mehr Asche, als alle übrigen Sortimente.

Fragen wir nun, wie sich der Aschegehalt stelle, wenn wir nicht gleiche Gewichtstheile, sondern gleiche Raumtheile der verschiedenen Sortimente mit einander vergleichen, so geben uns darüber die Analysen Vonhausens Aufschluß. Sie beziehen sich, wie die vorigen, auf Holz und Rinde und wurden durch Einäschern ganzer Stämme gewonnen.

Nach Vonhausen enthält 1 Kubikmeter derbe Holzmasse an Asche

	Scheitholz	Prügelholz	Reisholz	
Buche	6,345280	10,236800	14,145920	Kilogramme
Kiefer	1,358848	1,715712	5,641920	„

Das Prügelholz rührte von Aesten und der Schaftspitze her. — Diese Zahlen zeigen also, daß die gröberen Sortimente in gleichen Raumtheilen weniger Asche enthalten, als die schwächeren. Schließt man in den vorhin angeführten Analysen Chevandiers das Prügelholz von jungen Stämmen aus, so ergibt sich, daß dieses Verhältniß der Aschequantitäten für die verschiedenen Sortimente das nämliche bleibt, möge man gleiche Gewichts- oder Raumtheile Holz mit einander vergleichen.

Die Analysen Vonhausens weisen einen auffallend geringeren Aschegehalt bei der Kiefer, gegenüber der Buche, nach; es scheint ein ganz allgemei-

nes Gesetz zu sein, daß die Nadelhölzer weniger Asche enthalten, als die Laubhölzer. Dagegen kann man nicht sagen, daß die weichen Hölzer weniger reich an Asche seien, als die harten, obwohl sich hier keine constante Regel wahrnehmen läßt. (Man vergleiche die vorhin mitgetheilten Einäscherungen Chevandiers).

3. Gegenseitiges Verhältniß der anorganischen Stoffe.

Betrachten wir das Verhältniß, in welchem die anorganischen Stoffe die Asche zusammensetzen, so fällt uns zuerst in's Auge, daß die Quantität der in Wasser löslichen Bestandtheile beim Holze größer ist, als bei der Rinde. Wir wollen hierüber einige Zahlen geben.

Von 100 Theilen Asche sind in Wasser löslich

Eichenastholz . . .	26	Saussure
Rinde desselben . . .	7	
Eichenstammholz . .	38,6	
Rinde desselben . . .	7	
Pappelstammholz . . .	26	
Rinde desselben . . .	6	
Haselnußzweige . . .	24,5	
Rinde derselben . . .	12,5	
Holz von Morus nigra .	21	
Rinde dieses Baumes .	7	
Holz der Weißbuche . .	22	
Rinde derselben . . .	4,5	
Eichenholz	12,0	Berthier
Eichenrinde . . .	5,0	

Dieses Verhalten der Rinde, gegenüber dem Holz ist in der Mehrzahl der Fälle dem reichlicheren Vorkommen von kohlensaurer Kalk- und Bittererde, viel seltener aber, als man gewöhnlich annimmt, demjenigen von phosphorsauren Salzen zuzuschreiben, wie die nachstehenden Zahlen beweisen

	Kohlensaurer Kalk und kohlensaure Bittererde	Phosphorsaure Salze	
Eichenastholz	12,25	28,50	Saussure
Rinde desselben	63,25	4,50	
Pappelholz	27,00	16,75	
Rinde desselben	60,00	5,30	
Holz der Weißbuche	26,00	23,00	
Rinde derselben	59,00	4,50	
Buchenholz	57,28	10,10	Hertwig
Buchenrinde	81,66	4,67	
Tannenholz	56,54	9,12	
Tannenrinde	65,11	12,67	

Bei Morus nigra fand Saussure eine stärkere Abweichung von dieser Regel

Holz von Morus nigra	56,00	2,25
Rinde	45,00	8,50

Das Verhältniß der löslichen zu den unlöslichen Bestandtheilen zeigt sich bei den Blättern nach der Jahreszeit verschieden. Nach den Untersuchungen Saussure's nehmen die unlöslichen Stoffe gegen den Herbst hin zu.

Von 100 Theilen Asche sind in Wasser löslich

Blätter der Eiche	vom 10. Mai	47
" " "	" 20. Sept.	17
" " Pappel	" 26. Mai	36
" " "	" 12. Sept.	26
" " Haselnuß	" 1. Mai	26
" " "	" 22. Juni	22,7
" " "	" 20. Sept.	11

Man darf aber nicht vergessen, daß kohlensaure Kalk- und Bittererde, welche den größern Theil der unlöslichen Stoffe in der Asche ausmachen, im grünen Holz als pflanzensaure Kalk- und Bittererde vorkommen, welche in dem ohnehin sauren Pflanzensaft löslich sind.

Bei den Blättern nimmt der Gehalt an Kieselsäure in dem Maße zu, als jene an Consistenz gewinnen, in dem nämlichen Verhältniß nehmen aber die Alkalien ab. Saussure fand in 100 Theilen Asche

der Eichen-Blätter	am 10. Mai	3,0	Theile Kieselerde u.	72,24	Th. Alkalien
" " "	" 27. Sept.	14,5	" "	" 42,50	" "
" Pappel-Blätter	" 26. Mai	5,0	" "	" 51,50	" "
" " "	" 12. Sept.	11,5	" "	" 44,00	" "
" Haselnuß-Blätter	" 1. Mai	2,5	" "	" 50,70	" "
" " "	" 22. Juni	4,0	" "	" 30,00	" "
" " "	" 20. Sept.	11,3	" "	" 44,00	" "

Wie wir bemerken, zeigen nur die am 22. Juni geerndteten Haselnußblätter eine Anomalie bezüglich der Alkalien.

Vergleichen wir jetzt das Verhältniß der anorganischen Stoffe verschiedener Holzarten und Sortimente. Wir benutzen dazu die von Vonhausen angestellten Analysen des Buchen- und Kiefernholzes, bemerken aber, daß das Buchenreisholz ohne Laub, das Kiefernreisholz dagegen mit den Nadeln eingeäschert wurde.

Buche

	Holz mit Rinde		
	Scheitholz	Prügelholz	Reisholz (ohne Laub)
Eisenoxyd	0,520	0,268	0,592
Manganoxydulöxyd	0,925	1,073	0,592
Kalkerde	39,779	37,861	40,181

	Scheitholz	Prügelholz	Reisholz (ohne Laub)
Magnesia	10,080	13,405	9,055
Kali	13,168	12,517	11,813
Natrium	3,095	1,725	1,824
Kieselsäure	6,257	5,526	8,247
Phosphorsäure	6,052	9,611	10,293
Schwefelsäure	0,461	0,550	0,986
Chlor	0,066	0,053	0,108
Kohlensäure	19,597	17,411	16,309
	100,000	100,000	100,000

Kiefer

Holz mit Rinde

	Scheitholz	Prügelholz	Reisholz (mit Nadeln)
Eisenoxyd	0,614	0,736	0,941
Manganoxydduloxyd	0,391	0,663	0,277
Kalkerde	50,261	47,504	38,109
Magnesia	8,431	8,292	9,824
Kali	12,232	12,634	14,059
Natrium	0,441	2,341	1,835
Kieselsäure	2,445	2,721	5,073
Phosphorsäure	5,051	5,673	11,092
Schwefelsäure	1,070	1,589	1,603
Chlor	0,029	0,092	0,057
Kohlensäure	19,035	17,755	17,130
	100,000	100,000	100,000

Aus diesen Zahlen ergibt sich Folgendes:

a) Eisen, Mangan und Chlor machen nur einen sehr kleinen Theil der Holzasche aus.

b) Der Gehalt an Kalkerde ist größer bei der Kiefer, als bei der Buche, nur das Kiefernreisholz bildet eine Ausnahme dieser Regel, was dem größern Kieselerde- und Phosphorsäuregehalt der mit dem Holze zugleich eingeäscherten Nadeln zuzuschreiben ist.

c) Die Alkalien nehmen auffallender Weise beim Laubholz von der Wurzel nach der Spitze hin ab, das Nadelholz zeigt dem entgegengesetzt eine Zunahme in der angegebenen Richtung.

d) Die Kieselsäuregehalt steigt bei der Kiefer nach der Spitze hin, auch vom Laubholz haben die dünnen Zweige mehr, als das Scheitholz, das Prügelholz dagegen besitzt weniger, als die beiden andern Sortimente. Doch kommt ein nicht unbeträchtlicher Theil der Kieselsäure im Kiefernreisholz auf Kosten der Nadeln.

e) Die Phosphorsäure sowohl der Buche, als der Kiefer nimmt von der

Wurzel nach der Spitze hin zu, ebenso die Schwefelsäure; das Chlor zeigt kein characteristisches Verhalten in dieser Beziehung.

Während im Holz die alkalischen Erden entschieden vorwiegen, enthalten die Samen mehr Alkalien, insbesondere macht sich der größere Gehalt an Phosphorsäure bemerklich, welche wahrscheinlich von den Proteinverbindungen des Samens herrührt. In Nachstehendem theilen wir einige Analysen von Baumsamen mit, welche das eben Ausgesprochene bestätigen sollen.

	Kiefer (Poleck)	Fichte (Poleck)	Wallnuß (Glasson)	Buche (Souchay)	Eiche (Kleinschmidt)
Kali	18,61	18,57	27,12	18,13	51,73
Natron	1,05	5,78	—	7,55	—
Chlornatrium	—	0,49	0,80	0,69	0,78
Kalkerde	1,55	1,22	21,58	19,47	5,48
Talkerde	12,57	14,34	7,72	9,25	4,45
Eisenoxyd	2,51	1,12	0,73	4,59	9,90
Phosphorsäure	38,27	33,85	35,61	16,53	13,69
Schwefelsäure	—	—	2,28	1,75	2,23
Kieselsäure	8,70	10,00	1,13	1,49	0,77

4. Einfluß des Bodens auf die Quantität und Qualität der anorganischen Bestandtheile der Holzpflanzen.

Wir haben oben bereits angedeutet, daß die Quantität der Asche innerhalb der nämlichen Holzart und des gleichen Pflanzentheils ziemlich constant ist. In der That scheint selbst die Qualität des Bodens dieses Verhältniß nicht zu ändern. Dieses zeigen die Untersuchungen Chevandiers, von welchen wir hier einen Auszug für das Scheitholz geben. Das Holz wurde mit der Rinde eingeäschert. Die Zahlen bedeuten Prozente der ganz trockenen Materie.

	Buche	Eiche	Hainbuche	Birke	Erle	Aspe
Vogesensandstein	1,00	1,55	1,32	0,83	1,22	1,16
Bunter Sandstein	0,85	1,54	2,20	0,88	1,78	1,61
Muschelkalk	1,12	1,66	1,55	0,72	1,23	2,04

Die Abweichungen, welche diese Zahlen erblicken lassen, können unmöglich der Natur des Bodens zugeschrieben werden, denn sonst hätte eine und dieselbe Gebirgsart auch durchgängig den nämlichen Einfluß in Bezug auf die Vermehrung oder Verminderung der Asche äußern müssen. So sehen wir aber, daß der Vogesensandstein dreimal ein Minimum, der bunte Sandstein dreimal ein Maximum und zweimal ein Minimum, der Muschelkalk dreimal ein Minimum hervorbringt. Wollte man aber selbst der Ansicht huldigen, daß der Einfluß der mineralischen Beschaffenheit des Bodens je nach der Holzart ein verschiedener sei, so wird man diese Ansicht ohne Zwang doch nicht auf die Sortimente ausdehnen können. Nun ergibt aber die folgende Tabelle, daß beim Hainbuchenscheitholz der bunte Sandstein das Maximum, der Vo-

gesensandstein das Minimum, beim Hainbuchenprügelholz der Muschelkalk das Maximum, der bunte Sandstein das Minimum der Ascheproduction bewirkt hat. Die Differenzen in den obigen Zahlen können nur daher rühren, weil dasjenige, was hier Scheitholz genannt ist, doch nicht Holz von ganz gleicher Stärke war, indem man dieses Sortiment aus allem demjenigen Holz bildet, dessen Stärke ein bestimmtes Maß z. B. im Großherzogthum Hessen $1/8$ Meter überschreitet. Es ist deshalb recht gut möglich, daß z. B. auf dem bunten Sandstein stärkere Stämme zu Scheitholz verwendet wurden, als auf dem Muschelkalk, oder umgekehrt. Auch kann der Gehalt an Rinde auf diesen verschiedenen Localitäten im Verhältniß zum Holze ein sehr abweichender gewesen sein.

	Hainbuche	
	Scheitholz	Prügelholz
Vogesensandstein	1,32	1,82
Bunter Sandstein	2,20	1,78
Muschelkalk	1,55	1,93

Was aber die Qualität der Aschenbestandtheile anlangt, so äußert hierin der Boden einen sehr bemerkbaren Einfluß, namentlich gilt dies bezüglich der Alkalien und der alkalischen Erden. So fand Saussure im Fichtenholz, welches auf dem Mont Breven (Granit) und dem Mont La Salle (Kalk) erwachsen war, in 1000 Theilen der trockenen Materie 11,87 und 11,28 Theile Asche — Zahlen, die innerhalb der Grenzen der Genauigkeit, welche bei Einäscherungen erwartet werden kann, mit einander fast ganz übereinstimmen; dagegen stellte sich der Gehalt an Alkalien und Kalk folgendermaßen heraus:

	Fichte	
	Granit	Kalk
Kohlensaures Kali	3,60	7,36
Kohlensaurer Kalk	46,34	51,19
Kohlensaure Bittererde	6,77	00,00

Auf dem Kalkboden war also in der That mehr Kalk von dem Holz aufgenommen worden, als auf dem Granitboden.

Liebig, von dem Grundsatz ausgehend, daß die Basen in den Aschen bestimmt seien, eine gewisse Rolle in dem Lebensprozeß der Pflanze zu übernehmen, glaubte den relativen Wirkungswerth derselben nach ihren Aequivalenten ansprechen zu müssen. Die letztern berechnen sich bekanntlich nach der Sauerstoffmenge, welche das Metall braucht, um sich zu oxydiren. Liebig fand das überraschende Resultat, daß, obgleich die Basen in den beiden Fichtenaschen in sehr abweichenden Mengen vorkommen, doch die Summe ihres Sauerstoffgehaltes, so zu sagen, ganz übereinstimmt.

Fichtenasche vom Granitboden

Kohlensaures Kali	3,60	Sauerstoffgehalt des Kalis	0,415
Kohlensaurer Kalk	46,34	„ „ Kalks	7,327
Kohlensaure Bittererde	6,77	„ der Bittererde	1,265
			9,007

Fichtenasche vom Kalkboden

Kohlensaures Kali	7,36	Sauerstoffgehalt des Kali's	0,85
Kohlensaurer Kalk	51,19	„ „ Kalks	8,10
Kohlensaure Bittererde	00,00		
			8,95

9,008 und 8,95 sind wirklich kaum von einander verschieden, wenn man die erlaubte Fehlergrenze bei Einäscherungen berücksichtigt.

Das von Liebig aufgefundene Gesetz, daß der Sauerstoffgehalt der in der Asche eines und des nämlichen Pflanzentheils enthaltenen Basen eine constante Größe sei, scheint, wenigstens was das Holz anlangt, von allgemeiner Gültigkeit zu sein. Es fand Berthier in der Asche zweier Tannen, von denen I in dem Departement de l'Isère, II in Norwegen erwachsen war,

	I	II		I	II
Kali und Natron	16,8	34,8	Sauerstoffgehalt	3,57	7,7
Kalk	29,6	13,6		8,36	3,82
Magnesia	3,3	4,35		1,26	1,69
				13,19	13,31

Diese beiden Zahlen stimmen fast absolut mit einander überein.

5. Ursprung der anorganischen Bestandtheile in den Vegetabilien.

Die nächste Quelle, aus welcher wir die organischen Bestandtheile der Pflanzen abzuleiten haben, ist der Boden. Dieser ist entstanden aus der Verwitterung der Gesteine, welche die feste Erdrinde ursprünglich zusammengesetzt haben. Alle diejenigen Stoffe, welche bei diesem Prozeß in Lösung kommen, können von den Wurzeln der Pflanzen aufgenommen werden.

Die Alkalien und alkalischen Erden bilden die vorwiegenden Bestandtheile der Asche des eigentlichen Holzes; sie sind es, welche der Boden in größerer Menge zu liefern hat.

Wir haben früher gesehen, daß die sedimentären Formationen aus Ablagerungen von Sandsteinen, Kalken und Verwitterungsproducten der Feldspathe oder der ihnen verwandten Mineralien bestehen, und daß die letztern in den plutonischen Bildungen immer enthalten sind. Nun besitzen aber alle Feldspathe Kali und Natron, einige auch Kalk (namentlich der Labrador); der Glimmer, die Hornblende, der Augit enthalten stets alkalische Erden (Kalk und Bittererde), oft auch Alkalien; das Bindemittel des Sandsteins ist in den meisten Fällen kalkiger oder thoniger (feldspathartiger) Natur; alle Kalke besitzen

einen Gehalt an Alkalien; es folgt hieraus, daß die Alkalien und alkalischen Erden in jedem Boden sich vorfinden müssen.

Daß auch die Kieselsäure, welche einen nicht unbeträchtlichen Theil der Asche des Laubes und der Nadeln ausmacht, keinem Boden mangelt, lehrt uns die Zusammensetzung des festen Rückstandes der natürlichen Gewässer. In keinem von diesen hat man bis jetzt die Kieselsäure vermißt, wenn es nur eine nicht zu kurze Strecke über den Boden geflossen war.

Seltener kommen im Boden Schwefelsäure und Phosphorsäure vor, die Waldbäume haben aber auch nicht so viel von beiden nöthig. Wenn man von einem Hectare Buchenwald jährlich 20 Kil. Kalkerde erndtet, gewinnt man erst 4,3 Kil. Phosphorsäure und 347 Gramme (noch nicht $1/2$ Kil.) Schwefelsäure.

Das verbreitetste der schwefelsauren Salze ist der Gyps, von den phosphorsauren der Apatit und Wawellit. Immerhin kommen aber dieselben (namentlich die beiden letztern) nicht allgemein genug vor, als daß man den Schwefel- und Phosphorgehalt der Pflanzen von diesen Salzen ableiten könnte.

Die neueren Analysen haben Aufschluß über dieses Räthsel gegeben. Bei genauerer Untersuchung und indem man mit größeren Quantitäten arbeitete, fand man fast in jedem Gestein einen, wenn auch nur geringen, Gehalt an Phosphor- und Schwefelsäure.

Das Nämliche gilt von dem Chlor; doch hat man nicht nöthig, dessen Quelle für die Pflanzen in dem Verwitterungsboden zu suchen. Die Regenwolken, deren Wasserdampfgehalt zum größten Theil vom Meere herrührt, führen fortwährend große Quantitäten Kochsalz in das Binnenland ein, die mit dem niederfallenden Regenwasser auf den Boden gelangen. Obgleich nämlich das Kochsalz an und für sich nicht flüchtig ist, so enthält doch immer das aus einer Kochsalzlösung verdunstende Wasser Spuren davon. Ueber dem Meere selbst ist der Kochsalzgehalt des Wasserdampfs am auffallendsten; hier trübt die Luft jederzeit salpetersaure Silberlösung (es bildet sich unlösliches Chlorsilber). Pallas fand den Thau in der Nähe der Salzseen, in den Russischen Steppen salzhaltig, und an den Hessischen Salinen hat man die Fähigkeit des Wasserdampfs, bei seiner Trennung von dem tropfbar flüssigen Salzwasser eine gewisse Menge Kochsalz festzuhalten, durch directe Versuche nachgewiesen.

6. Die Pflanzen behalten die von Außen dargebotenen anorganischen Stoffe nach Bedürfniß und Auswahl zurück.

Da das Wasser, welches die Wurzeln der Pflanzen aus dem Boden aufsaugen, niemals chemisch rein, sondern eine Lösung von Salzen und Säuren ist, so kann es nicht auffallen, daß in dem Pflanzenkörper anorganische Stoffe gefunden werden. Das von den Gewächsen aufgenommene Wasser verdunstet ja wieder, es muß ein Theil der nicht flüchtigen Substanzen in ihnen zurückbleiben. Nun wirft sich aber die Frage auf: können die sog.

Aschebestandtheile der Pflanzen nur als Rückstand von der Verdunstung des aufgesaugten Wassers angesehen werden, oder müssen wir dieselben als eine Bedingung für die normale Entwicklung der Pflanzen betrachten, können also die anorganischen Stoffe von den Pflanzen nach Bedürfniß und Auswahl zurückbehalten werden?

Es ist eine ausgemachte Thatsache, daß die Fähigkeit der Pflanzen, das durch die Wurzeln aufgenommene Wasser wieder in Dampfform an die Atmosphäre abzugeben, nach Gattung und Art eine sehr verschiedene ist. Während der sprossende Rasen viermal mehr Wasser verdunstet, als eine gleich große Wasserfläche, verlieren manche Sempervivum- und Cactusarten nur geringe Spuren ihrer Saftfeuchtigkeit. Nehmen wir nun an, es würde den Wurzeln einer Gras- und einer Cactuspflanze das Wasser von der nämlichen Beschaffenheit dargeboten, so läßt sich der größere Aschengehalt der ersteren als Folge der vermehrten Verdunstung erklären.

Offenbar ist die Verdunstung bei den Pflanzen ein rein physikalischer Prozeß, dessen langsamerer oder schnellerer Verlauf von der Beschaffenheit der Blätter und jungen Triebe, insbesondere, wie wir später sehen werden, von der Häufigkeit der sogenannten Spaltöffnungen bedingt wird. Es läßt sich nicht denken, daß in der Textur der Pflanzenoberfläche die Bedingungen für das Zurückhalten des einen oder des andern derjenigen Stoffe gelegen sei, welche durch das mittelst der Wurzeln aufgenommene Wasser in die Pflanze gelangen.

Von diesem Grundsatze ausgehend, läßt es sich nicht erklären, warum nicht das relative Verhältniß der anorganischen Bestandtheile zweier Pflanzen, welche mit dem nämlichen Wasser genährt worden sind, genau dasselbe bleiben sollte. Nun finden wir aber, daß die Asche einer Wickenpflanze 31 % Kali und 2 % Kieselsäure enthält, während die Asche eines dicht daneben gewachsenen Roggenhalmes 17 % Kali und 64 % Kieselerde zeigt. Wir können daher die Vermuthung nicht zurückweisen, daß die Pflanzen die Fähigkeit besitzen, gewisse Stoffe zurückzuhalten, und daß diese irgend eine Rolle in dem Organismus, in dem Lebensprozeß der Gewächse spielen. Denn wozu assimilirt die Wickenpflanze mehr Kali, als der Roggen, wenn sie dieses Kali nicht zu bestimmten Zwecken braucht? Die Kraft selbst, welche die Auswahl der anorganischen Stoffe leitet, läßt sich weder auf die bekannten physikalischen, noch auf die chemischen Kräfte zurückführen; wir müssen sie, so lange ihre Natur nicht genauer erforscht ist, als Lebenskraft bezeichnen.

Der Mensch und das Thier trifft eine Auswahl unter seinen Nahrungsmitteln; können wir von der Pflanze das Gleiche annehmen? Besitzt also schon die Oberfläche der Wurzel das Vermögen, gewisse Stoffe zurückzuweisen, oder dringt Alles, was in Wasser löslich ist, in die Pflanze ein, und wird das constante Verhältniß der anorganischen Stoffe dadurch hervorgebracht, daß die nicht verwendbaren Substanzen wieder aus der Pflanze ausgeschieden

werden? Für alle diese Fragen fehlt bis jetzt eine Antwort, welche sich auf die Resultate directer Untersuchungen stützte.

7. Die anorganischen Bestandtheile der Pflanzen sind eine nothwendige Bedingung für die normale Entwicklung derselben.

Obgleich schon aus dem Vorhergehenden erhellt, daß die anorganischen Stoffe, welche in den Pflanzen gefunden werden, kein zufälliges Vorkommen sind, sondern eine Rolle in dem Lebensprozeß der Organismen spielen müssen, so wollen wir doch noch einen directen Versuch anführen, welcher beweist, daß die sogenannten Aschebestandtheile eine nothwendige Bedingung für die normale Entwicklung der Gewächse sind. Dieser Versuch rührt von Wiegmann und Polstorff her.

Diese beiden Naturforscher nahmen einen sehr reinen Quarzsand (aus der Gegend von Braunschweig), kochten ihn mit Königswasser *) aus und setzten, nachdem die Säure und das, was sich in ihr gelöst hatte, durch Waschen entfernt war, der einen Hälfte dieses Sandes organische und anorganische Substanzen in dem Verhältniß zu, in welchem sie von Sprengel in einer fruchtbaren Ackererde gefunden worden waren. In 1000 Theilen enthielt das von ihnen dargestellte Gemenge:

Reinen Quarzsand	861,26
Schwefelsaures Kali	0,34
Trocknes Kochsalz	0,13
Gebrannten Gyps	1,25
Geschlämmte Kreide	10,00
Kohlensaure Magnesia	5,00
Manganoxyd	2,50
Eisenoxyd	10,00
Alaunerde, aus Alaun gefällt	15,00
Phosphorsauren Kalk	15,60
Humussaures Kali	3,41
Humussaures Natron	2,22
Humussaures Ammoniak	10,29
Humussauren Kalk	3,07
Humussaure Talkerde	1,97
Humussaures Eisenoxyd	3,32
Humussaure Alaunerde	4,64
Unlöslichen Humus (Humuskohle)	50,00
	1000,00

*) Dieses ist eine Mischung von Salpetersäure und Salzsäure. Es löst Gold und Platin unter Entwicklung von salpetriger Säure auf, wobei diese Metalle in Ver-

Sechs Töpfe von 8 Zoll Durchmesser wurden mit reinem Sand und eben so viele mit der präparirten Erde gefüllt. In beide Erdarten säete Wiegmann Wicken, Buchwaizen, Hafer, Gerste, Klee und Tabak. Die Erde wurde mit destillirtem Wasser angefeuchtet.

In den ersten 8—10 Tagen zeigte das Wachsthum der jungen Pflänzchen keinen Unterschied, dann aber wuchsen die in künstlicher Erde den in reinem Sand erzogenen vor; ihre Blätter färbten sich dunkler und ihre Halme und Stengel wurden stärker und steifer. Sie blühten sämmtlich reichlich und setzten keimfähigen Samen an, während die in den bloßen Sand gesäeten Pflanzen nur zum Theil blühten und keinen fruchtbaren Samen hervorbrachten.

Man sieht aus diesen Versuchen, daß die in den Samen niedergelegten Nahrungsstoffe zwar im Stande sind, das Leben der gekeimten Pflanze eine Zeit lang zu unterhalten, daß dagegen die normale Entwicklung und insbesondere die Samenproduction nur erfolgen kann mittelst der löslichen Bestandtheile des Bodens. Der Luftstaub kann dieselben nicht vertreten, denn er war den in reinen Sand gesäeten Pflanzen zugänglich, und trotzdem entwickelten sich diese nicht vollständig.

8. Welche Rolle spielen die sog. Aschebestandtheile in dem Organismus der Pflanze?

Die anorganischen Stoffe, welche man in den Pflanzen findet, lassen sich in zwei große Gruppen bringen.

Die erstere, zu welcher namentlich Phosphor und Schwefel gerechnet werden müssen, bedingen die Integrität des Pflanzentheils, welchem sie angehören. Sie sind förmlich in die Zusammensetzung desselben eingetreten. Wozu diese Stoffe dienen, wissen wir mit der größten Bestimmtheit. Albumin z. B. ist eine Verbindung von Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Phosphor und Schwefel; jedes von diesen Elementen ist gleich wichtig für die Constitution des Albumins. Nimmt man den Stickstoff hinweg, so kann der Rest nicht mehr Albumin genannt werden, aber eben so wenig verdient er diese Bezeichnung ohne Phosphor und Schwefel. Wie fest z. B. der Phosphor im Kleber an den Kohlenstoff, Wasserstoff u. s. w. gebunden ist, beweist die Erfahrung, daß bei der Bierbereitung das phosphorsaure Kali, welches doch ein lösliches Salz ist, nicht im Malzauszug, sondern noch bei der Hefe gefunden wird. Die anorganischen Stoffe unserer ersten Gruppe sind also deßwegen für die Vegetation nothwendig, weil sie wesentlich zu der Zusammensetzung gewisser Pflanzentheile gehören.

---

bindung mit Chlor gebracht werden. Da in dem Boden solche schwerlösliche Stoffe. wie Gold &c. nicht vorkommen, so hätte man auch wohl mit der Anwendung von Salpetersäure oder Salzsäure allein ausgereicht.

Andere anorganische Stoffe, aus denen wir eine zweite Gruppe bilden wollen, können von den Pflanzentheilen, in welchen sie sich finden, getrennt werden, ohne daß dadurch deren Integrität eine Einbuße erleidet. So lassen sich z. B. aus dem Holze mittelst Wassers und anderer Flüssigkeiten Basen, welche an organische und anorganische Säuren gebunden sind (z. B. essigsaures Kali, schwefelsaures Kali) ausziehen, ohne daß der Rest aufhörte, Holz zu sein. Die Entfernung dieser Substanzen hat nicht zur Folge, daß gleichzeitig auch der Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, welche die Zusammensetzung der Holzfaser ausmachen, sich von einander trennen.

Wozu dienen die anorganischen Stoffe der zweiten Gruppe?

Indem wir uns anschicken, eine Antwort auf diese Frage zu geben, betreten wir eines der dunkelsten Gebiete der Pflanzenphysiologie. Liebig war der Erste, welcher einiges Licht über dasselbe zu verbreiten gesucht hat, ohne es vollständig aufhellen zu können. Obgleich die Entwicklungen dieses großen Naturforschers noch manche Zweifel übrig lassen, so sind wir doch verbunden, sie ausführlich mitzutheilen, denn sie sind in der That die einzige Erklärung, welche man bis jetzt über die Bedeutung der angeführten Stoffe für den Pflanzenorganismus gegeben hat.

Es ist früher auseinandergesetzt worden, daß, wenn Kohlensäure und Wasser zur Bildung der Holzfaser zusammentreten, eine Ausscheidung von Sauerstoff erfolgt. Geht man von der Zusammensetzung der Cellulose aus, so findet man, daß es 24 Aequivalente Sauerstoff sind, welche die Pflanze verlassen müssen, damit 12 Aeq. Kohlenstoff in ihr zurückbleiben können; für die ganze Holzfaser wären es aber 72 Aequivalente Sauerstoff (S. 337).

Es ist nun nicht denkbar, daß diese ganze bedeutende Quantität Sauerstoff auf einmal und in dem Augenblick ausgestoßen werde, in welchem die Kohlensäure oder das Wasser von der Pflanze aufgenommen worden ist.

In der Natur bemerken wir keine Sprünge, sondern allmählige Uebergänge, sowohl vom Einfachen zum Zusammengesetzen, als wie in der umgekehrten Ordnung. Wir führen beispielsweise an, daß beim Verbrennen von Schwefel nicht sogleich Schwefelsäure (SO_3), sondern erst schweflige Säure (SO_2), daß aus Alkohol $C_4 H_6 O_2$ nicht unmittelbar Essigsäure $C_4 H_3 O_3$, sondern erst Aldehyd $C_4 H_4 O_2$ entsteht.

Es ist also wahrscheinlich, daß nicht sogleich sämmtlicher Sauerstoff, welcher nach der Assimilation des Kohlenstoffs und des Wasserstoffs übrig bleiben müßte, sogleich den Kohlenstoff oder den Wasserstoff verläßt, daß vielmehr zwischen der Zusammensetzung der Kohlensäure und derjenigen des Holzes viele Zwischenstufen liegen, welche aus Verbindungen bestehen, deren Sauerstoffgehalt in dem Maße abnimmt, als sie sich dem Holze nähern.

Diese Annahme würde sehr gewinnen, wenn in der Pflanze selbst diese Zwischenstufen aufzufinden wären und so der Uebergang der Kohlensäure in Holzfaser von Glied zu Glied erfolgt werden könnte.

Dies ist nun bis jetzt nicht in der wünschenswerthen Vollständigkeit gelungen, wahrscheinlich deßhalb, weil der Uebergang von einer dieser Verbindungen in die andere in sehr kurzen Intervallen erfolgt. Hält man dagegen die Analysen des Saftes verschiedener Pflanzen zusammen, so stellt sich eine Anzahl von Körpern dar, deren Sauerstoffgehalt förmlich eine fallende Reihe bildet. Es sind dies die organischen Säuren. Sie können sämmtlich aus der Kohlensäure abgeleitet werden, wenn man unterstellt, daß Wasserstoff aufgenommen und Sauerstoff ausgegeben werde. Wir wollen diese Derivation beispielsweise und nach dem Vorgang Liebig's für Oxalsäure, Weinsäure, Aepfelsäure, Citronensäure und Flechtensäure vornehmen.

12 Aeq. Kohlensäure sind =	$C_{12}\ O_{24}$
hiervon ab 6 Sauerstoff	O_6
bleiben 6 Aeq. wasserfreie Oxalsäure	$C_{12}\ O_{18}$

Die Oxalsäure existirt nicht in wasserfreiem Zustand, als Oxalsäurehydrat enthält sie 1 Aeq. Wasser.

6 Aeq. Oxalsäurehydrat =	$C_{12}\ O_{24}\ H_6$

Aus der Oxalsäure entsteht durch Austreten von Sauerstoff Weinsäure und Aepfelsäure

6 Aeq. Oxalsäurehydrat =	$C_{12}\ O_{24}\ H_6$
hievon ab 9 Sauerstoff	O_9
bleiben 3 Aeq. Weinsäure	$C_{12}\ O_{15}\ H_6$
weiter ab 3 Sauerstoff	$-\ O_3$
bleiben 3 Aeq. Aepfelsäure	$C_{12}\ O_{12}\ H_6$
hiervon ab 1 Wasser	$O\ H$
bleiben 3 Aeq. Citronensäure	$C_{12}\ O_{11}\ H_5$
hiervon 2 Wasser	$O_2\ H_2$
bleiben 3 Aeq. Flechtensäure	$C_{12}\ O_9\ H_3$

Wir können nun Weinsäure, Citronensäure, Aepfelsäure rc. betrachten als Verbindungen von Oxalsäure mit Zucker, Gummi, Amylon, Cellulose u. s. w. Z. B.

6 Weinsäure — 6 Oxalsäure + Cellulose + 2 Wasser

$$2\ (C_{12}\ H_6\ O_{15}) = C_{12}\ O_{18} + C_{12}\ H_{10}\ O_{10} + H_2\ O_2$$

6 Oxalsäure + 2 Amylon + 2 Wasser

$$= C_{12}\ O_{18} + C_{12}\ H_{10}\ O_{10} + H_2\ O_2$$

6 Oxalsäure + trockener Ahornzucker + 1 Wasser

$$= C_{12}\ O_{18} + C_{12}\ H_{11}\ O_{11} + H\ O$$

6 Oxalsäure + trockener Traubenzucker

$$= B_{12}\ O_{18} + C_{12}\ H_{12}\ O_{12}$$

Durch Hinzutreten neuer Quantitäten Wasserstoff können also alle diese Säuren zur Bildung von Zucker, Amylon, Gummi, Cellulose rc. dienen.

Es fragt sich nun, ob Thatsachen dafür sprechen, daß die organischen Säuren wirklich den Uebergang in diese Stoffe vermitteln.

Wie schon angedeutet wurde, hat man in einer und derselben Pflanze noch nicht alle Glieder der vorhin aufgestellten Reihe gefunden; es darf aber nicht unerwähnt bleiben, daß man noch nicht gründlich nach ihnen gesucht hat. Von Liebig selbst ist es, so viel wir wissen, bis jetzt versäumt worden, den Pflanzensaft auf die ganze Kette der Säuren, welche er in ihm vermuthet, zu untersuchen. Dagegen führt er folgende Beobachtungen zur Unterstützung seiner Ansichten an:

a. „Die unreifen Früchte der Weintrauben sind wegen ihres Säuregehaltes ungenießbar. Im Sonnenlicht scheiden sie Sauerstoff aus, und statt der Säure finden wir im Herbst Zucker.“

b. „Wir sehen in den Früchten des Vogelbeerbaum's auf die Weinsäure die Aepfelsäure, auf die sauerstoffreichere Säure die an Sauerstoff ärmere folgen; wir sehen die Aepfelsäure in den Beeren nach und nach beinahe gänzlich verschwinden und finden an ihrer Stelle Gummi und Schleim, die vorher darin fehlten, und ebensoviel Gründe, wie wir für den Uebergang des Kohlenstoffs der Weinsäure zu einem Bestandtheil der auf sie folgenden Aepfelsäure haben, an dem wohl schwerlich Jemand zweifelt, genau so viel haben wir für den Uebergang dieser Säuren in Zucker.“

Diesen Argumenten ließe sich noch hinzufügen, daß der Saft der Waldbäume im Frühjahr und Sommer immer sauer reagirt und daß die Säure gegen den Herbst hin, wenn das Holz mit Amylonkörnchen angefüllt ist, verschwindet. Die Säuren, welche man in Holzsaft gefunden hat, sind namentlich Essigsäure*) (Vauquelin fand im Saft der Ulme im Mai 0,889 % essigsaures Kali, im Saft der Hainbuche freie Essigsäure, essigsaure Kalkerde und essigsaures Kali, im Saft der Birke, Buche und der zahmen Kastanie essigsaure Kalkerde und essigsaures Kali), Aepfelsäure (sie wurde u. A. von Buchner und Herberger in der Wurzel des Sauerdorns mit 3,4 % nachgewiesen), Weinsäure und Gerbesäure.

Wenn sich die Liebig'sche Theorie durch weitere Untersuchungen bestätigen sollte, so wäre damit das Dunkel, welches bisher über der Bildung des Holzes geschwebt hat, in vielen Punkten aufgehellt. Es wäre alsdann der Weg erleuchtet, den die Kohlensäure zu durchwandern hat, um in Amylon, Gummi oder Zucker überzugehen. Ist man einmal bei diesen Substanzen angekommen, so macht die Erklärung, wie sich aus ihnen das Holz erzeugen kann,

*) Die Formel des Essigsäurehydrats ist $C_4 H_3 O_3 + HO = C_4 H_4 O_4$; diese dreimal genommen, gibt $C_{12} H_{12} O_{12}$; es brauchen sich daher von 3 Aeq. Essigsäurehydrat nur 2 Aeq. Wasser zu trennen, damit der Rückstand die Zusammensetzung der Cellulose erhalte.

keine Schwierigkeiten mehr. Wir sahen früher, daß die Formel der Cellulose $C_{12} H_{10} O_{10}$ ist. Diese stimmt mit derjenigen des Dextrins $C_{12} H_{10} O_{10}$ vollständig überein; und nehmen wir die Formel des Amylons ($C_6 H_5 O_5$) doppelt, so haben wir $2 (C_6 H_5 O_5) = C_{12} H_{10} O_{10}$ daher ebenfalls die Cellulose. Zieht man von der Formel des Ahornzuckers 1 Aeq. Wasser ab, so ist $C_{12} H_{11} O_{11} - HO = C_{12} H_{10} O_{10}$ Und von der Formel des Traubenzuckers 2 Wasser ab, bleibt

$$C_{12} H_{12} O_{12} - H_2 O_2 = C_{12} H_{10} O_{10}$$

also wieder Cellulose.

Es scheint in der That alles Holz aus Amylon gebildet zu werden; der Sitz desselben ist das Markstrahlengewebe und die Rinde, in den Längsgefäßen kommt es nur selten vor. Untersucht man im Frühjahr, wenn die Stärke des aufsteigenden Saftstroms nachgelassen und die Rinde sich wieder mit dem Holze verbunden hat, die Markstrahlenzellen, so findet man in ihnen wenig Stärkmehl; im Sommer ist es schon reichlicher vorhanden, und im Herbst strotzen sie von Amylonkörnchen (Fig. 144. Stärkmehlkörner in den Markstrahlenzellen der Platane). Das Nämliche bemerkt man bei den Blättern, ihr Stärkemehlgehalt ist im Herbst, wenn sie abfallen, am größten, weswegen sie auch vorzüglich zu dieser Jahreszeit zu Futterlaub geerndtet werden, und wenn auch das Vieh das Herbstlaub weniger gern frißt, so weiß man doch, daß dieses nahrhafter ist, als wenn es im Sommer von den Bäumen genommen wird.

Fig. 144.



Die Blätter der Laubholzbäume sterben in unseren Klimaten im Herbste mit dem Eintritt einer niedrigeren Temperatur ab; schon in der Türkei, in Griechenland, im südlichen Spanien sind die Laubhölzer wintergrün, die Blätter bleiben mehrere Jahre am Stamm sitzen, und wenn sie abfallen, so enthalten sie kein Stärkemehl mehr, man kann sie nur zu Streu, nicht zur Nahrung für die Thiere verwenden. Diese Blätter haben ihr Stärkemehl an das Holz abgegeben, sie haben eine ähnliche Rolle, wie die Markstrahlen gespielt.

Das Stärkemehl der Rinde wird wahrscheinlich ebenso, wie dasjenige, welches am Holze aufgespeichert ist, zur Bildung von Cellulose verwandt, denn im Frühjahr, wenn das Holz von der Rinde sich löst, erfolgt die Zellenbildung von zwei Seiten aus; es erzeugt sich ein neuer Holzring und zugleich eine neue Bastschichte. Manche Holzarten enthalten außerordentlich viel Stärkemehl in der Rinde; es ist bekannt, daß in Schweden im Winter zur Zeit der Noth aus Fichtenrinde Brod gebacken wird. In der Rinde der Kiefer fand Du Menil 6% Stärkemehl.

Aus dem Stärkemehl kann sich übrigens nicht unmittelbar Holz bilden, denn jenes ist in Wasser unlöslich und kann deshalb nicht ohne Weiteres aus

den Markstrahlengefäßen zwischen Holz und Rinde, wo der neue Jahrring sich erzeugt, oder in die Knospen und Triebe gelangen. Die Natur muß es erst verflüssigen; sie bringt es zu dem Ende in die Form von Dextrin oder Zucker.

Die Säfte von vielen Bäumen sind in der Vegetationszeit schleimig, dieser Schleim hat genau die Zusammensetzung des Dextrin's; andere Holzarten enthalten im Frühjahr Zuckersaft. Bei dem Ahorn tritt er in so bedeutender Menge (2—3%) auf, daß man ihn wie den Rohrzucker gewinnt, und der Birkensaft wird wegen seines Zuckergehaltes zu einem moussirenden Getränke, dem sog. Birkenchampagner, benutzt. In diesen beiden Holzarten, dem Ahorn und der Birke, hat der Zucker die nämliche Beschaffenheit, wie im Zuckerrohr, d. h. seine Formel ist $C_{12}\ H_{11}\ O_{11}$. In den Früchten dagegen findet man mehr Traubenzucker $= C_{12}\ H_{12}\ O_{12}$. Der Zusammenhang zwischen Zucker und Cellulose läßt sich nicht verkennen, wenn man sich erinnert, daß der Ahornsaft nur im Frühjahr zuckerhaltig ist und daß der Zucker in dem Maße verschwindet, als die Zellenbildung zwischen Holz und Rinde und die Entwickelung der Knospen und Triebe vorschreitet.

Indem die Natur das Amylon in Zucker umwandelt, betritt sie einen Umweg, denn die Zusammensetzung des Stärkemehls steht der Cellulose näher, als diejenige des Zuckers. Indessen ist der Unterschied nicht groß, es genügt das Ausscheiden von 1 Aeq. Wasser, um dem Rohrzucker die chemische Constitution der Cellulose zu geben. Wäre der Zucker in den Baumsäften Traubenzucker, so müßten 2 Aeq. Wasser austreten.

Daß die Zellenbildung im Holze aus Amylon erfolgt, dafür haben wir noch einen Beleg in dem Keimprozeß. Das Amylon des Samens geht in Zucker über, läßt man den Keim der Gerste zu lang werden, so ist der Zucker verschwunden und das Malz zur Bierbereitung untauglich.

Vielleicht findet bei den Nadelhölzern der Uebergang des Amylons in Holzfaser durch das Terpenthinöl — eine stickstofffreie Substanz — statt. Daß das Stärkmehl sich in Fett verwandeln kann, sehen wir bei dem Mästen der Thiere, die mit Kartoffeln gefüttert werden, und wenn auch die Vorgänge im Organismus der Thiere und Pflanzen ganz verschieden sind, so genügt es doch für die vorliegende Frage, mit Bestimmtheit zu wissen, daß vom chemischen Gesichtspuncte aus der Umwandlung des Stärkemehls in Terpenthinöl kein Hinderniß im Wege steht. — Unterdrückte Nadelholzstämme, in denen die Lebenskraft gebrochen ist, sind nicht vermögend, das Terpenthinöl in Holz umzusetzen, es speichert sich in ihnen auf und geht unter Aufnahme von Sauerstoff in Harz über. So erklärt es sich vielleicht, warum übergipfelte Stämme, die längere Zeit im Druck gestanden haben, so kienreich sind.

Ist es nun wohl die Lebenskraft allein, welche die Ueberführung des Amylons in Zucker bewirkt, oder tritt hier eine chemische Action ein? Für das Vorhandensein der letztern sprechen die Vorgänge bei der Keimung; wir sahen, daß es die stickstoffhaltige Substanz ist, welche die Umwandlung des

Amylons in Zucker veranlaßt. Nun haben wir aber früher schon nachgewiesen, daß der Saft der Bäume immer Proteinsubstanzen enthält, und vielleicht steht die große Menge Eiweiß, welche in dem abgelassenen Ahornsaft so schnell die weinige Gährung hervorruft, mit der Bildung des Zuckers in einem engen Zusammenhange.

Wir haben bisher die Consequenzen, welche die Liebig'schen Theorien darbieten, verfolgt; kehren wir nun zu der ursprünglichen Frage zurück.

Liebig ist also, wie wir sahen der Ansicht, daß der Uebergang der Kohlensäure in Holzfaser durch die organischen Säuren vermittelt werde. Aber, bemerkt dieser große Naturforscher weiter, die organischen Säuren sind in den Pflanzen selten in freiem Zustande vorhanden; sie sind gebunden an Basen. Die kohlensauren Salze, welche man beim Verbrennen von Gewächsen erhält, sind als solche erst durch die Einäscherung gebildet worden, sie waren in den Vegetabilien enthalten als pflanzensaure Salze. Die Säure wurde in der Glühhitze zerstört, es entwickelte sich Kohlensäure, die sich mit der freigewordenen Base verband.

Wenn die Säuren frei in den Pflanzen vorkommen, so bemerkt man die Bildung von Zucker, Amylon ꝛc. nicht. „In den Früchten und Samen, in welchen die Säuren frei, d. h. nicht als Salze enthalten sind, wie die Citronensäure in den Citronen, die Oxalsäure in den Kichererbsen, bildet sich kein Zucker. Nur in den Pflanzen entsteht Zucker, Gummi, Amylon, in denen die Säuren sich vereinigt finden mit Basen, in welchen sich lösliche Salze dieser Basen befinden. Ohne die Gegenwart dieser letzteren kann sich vielleicht eine organische Säure, allein ohne die Säure kein Zucker ꝛc. bilden". Liebig.

Wären die Mineralbasen nur zufällige Bestandtheile der Pflanzen, so ließe sich nicht erklären, warum jeder Pflanzentheil eine Summe von ihnen enthält, deren chemischer Wirkungswerth gleich ist. Wir sahen ja (4. S. 349), daß die an sich ungleichen Aschenmengen zweier auf Granit und Kalk erwachsener Fichten doch gleiche Sauerstoffquantitäten der Basen in sich fassen. Der Wirkungswerth einer Basis berechnet sich aber nach ihrem Sauerstoffgehalt, zwei ungleiche Mengen Basis von verschiedenen Radicalen sättigen die nämliche Quantität Säure, wenn nur der Sauerstoffgehalt dieser Basen nicht differirt. 100 Gewichtstheile Schwefelsäure vereinigen sich mit 118 Kali zu einem Salz (schwefelsaurem Kali); eben so viel Theile Schwefelsäure bilden mit 78 Natron ein Salz (schwefelsaures Natron); in dem einen Fall hat man 118 Theile Basis, im andern 78 Theile gebraucht, um die Säure zu neutralisiren, aber der Sauerstoffgehalt der beiden Basen ist der nämliche, denn 118 Kali enthalten 20 Sauerstoff, 78 Natron enthalten gleichfalls 20 Sauerstoff. Liebig.

Wenn die Basen wirklich die Rolle in der Pflanze spielen, welche Liebig ihnen zuschreibt, dann müssen sie sich auch in denjenigen Theilen der Ge-

wächse, welche als Organe des Assimilationsprozesses dienen, in reichlicherer Menge finden, als in den bereits fertig gebildeten. Die Analysen bestätigen in der That diesen Schluß. Die Blätter und grünen Triebe enthalten mehr Asche, als das reife Holz, und da in jenen das Verhältniß der Basen zu den übrigen Bestandtheilen der Asche nicht kleiner ist, als in diesem, so ergibt sich, daß die Gesammtquantität der Basen in den grünen Theilen der Holzgewächse diejenige des Holzes selbst überwiegt. Nach Saussure sind enthalten

in 1000 Theilen	Theile Asche
Tannenholz	3,28
Tannennadeln	62,25
Eichenholz	2,00
Eichenblätter	55,00
Pappelholz	8,00
Pappelblätter	93,00
Haselnußholz	5,00
Haselnußblätter	70,00

Nach Staffel enthält der Roßkastanienbaum

Blüthenstengel	Grüne Frühjahrstriebe	Junges Holz im Herbst	Vorjähr. Holz im Frühjahr
11,4	9,9	3,4	1,1

Aschenprozente, während das alte Holz noch nicht $1/2$ % Asche besitzt. Vonhausen fand im Buchenreisholz 2,33 mal, im Kieferreisholz (mit Nadeln) 4 mal so viel Asche, als im Stammholz.

Diese Verhältnisse erklären sich nach Liebig's Theorie in einfacher Weise. Das Stammholz war einmal jung, es enthält ja die einjährige Pflanze. Es muß also auch einmal reich an den Aschenbestandtheilen gewesen sein. Wohin sind diese gekommen? Nachdem sie die Holzerzeugung vermittelt hatten, war ihr Zweck erfüllt, dem reifen Holze konnten sie nicht mehr nützen; die Natur versetzte sie an die Stelle, wo sie von Neuem wirken konnten. Sie sind, gelöst im Saft, übergegangen in die jüngeren Triebe, in die Blätter und Nadeln. So vermag eine kleine Quantität der anorganischen Stoffe im Baume fortwährend als Träger des Ernährungs- und Bildungsprozesses zu dienen.

Schon Saussure fand, daß die Kohlensäure von der grünen Rinde der jungen Triebe eben sowohl absorbirt wird, als von den Blättern, und hieraus erklärt sich, wenn wir den Ansichten Liebig's folgen, der verhältnißmäßig große Aschengehalt der jungen Rinde.

Es ist nicht undenkbar, daß die grüne Rinde, selbst wenn die Blätter gänzlich fehlen, die Assimilation der Kohlensäure Jahre lang für sich allein besorgen könne *). Wenigstens scheint dies das sogenannte Ueber-

*) Die Cacteen, denen die Blätter fehlen, assimiliren die Kohlensäure blos mit Hülfe der grünen Epidermis des Stammes.

wallen der Nadelholzstöcke zu beweisen. Der Wurzelstock von Tannen, Fichten und Lärchen lebt oft noch lange Zeit fort, nachdem der Schaft gefällt worden ist. Es erzeugt sich zwischen Holz und Rinde ein Wulst, der von Jahr zu Jahr wächst und zuletzt die Abhiebsfläche ganz überzieht, so daß die Rinde, wenn man das Holz herausgenommen hat, zu Gefäßen benutzt werden kann. Hier muß doch die Rinde die Function der Nadeln versehen, denn man hat Stöcke bemerkt, in deren Umgebung weit und breit kein Baum desselben Genus sich befand, der durch Verbindung der Wurzeln, wie Manche vermuthet haben (Göppert: Beobachtungen über das sogenannte Ueberwallen der Tannenstöcke, Bonn 1842), den Stock ernährt haben könnte. Theodor Hartig hat uns Nachricht von einigen überwallten Lärchen gegeben, in deren näherer Umgebung sich nur Juniperus-Sträuche befanden (Forst- und Jagdzeitung, 1844, 96). Der Verf. selbst hat in den Tannenwaldungen der Sächsischen und Böhmischen Schweiz und des Schwarzwaldes viele überwallte Tannenstöcke gesehen, bei denen an eine Verbindung der Wurzeln mit andern Stämmen nicht im Entferntesten gedacht werden konnte.

Man hat das Ueberwallen durch die Annahme zu erklären gesucht, die neue Rinde, welche sich jährlich anlegt, entstünde aus den in dem Holze aufgespeicherten Nahrungsstoffen. Diese könnten indessen nach unsern Begriffen von Pflanzennahrung nichts anderes, als das in den Markstrahlen und der Rinde befindliche Stärkemehl sein. Von Letzterem wissen wir aber, daß es in jedem Frühjahr verzehrt, d. h. zur Bildung von Cellulose verwendet wird. Wenn also die grüne Rinde der Ueberwallungsschichte nicht die Fähigkeit besäße, Kohlensäure aufzunehmen, und wenn diese nicht innerhalb des Stocks zu Amylon verbraucht werden könnte, so würde das Ueberwallen nur ein Jahr lang stattfinden können. Die jährliche Wiederholung der Erscheinung beweist, daß der Ernährungsprozeß des lebendigen Stockes von demjenigen der unverstümmelten Pflanze nicht verschieden ist.

Wir haben früher (6.) die Frage aufgeworfen, ob nicht vielleicht das constante Verhältniß der anorganischen Stoffe im Holze dadurch hervorgerufen werde, daß die Pflanze diejenigen Substanzen, welche in ihrem Organismus keine Verwendung finden, ausscheidet. Vielleicht gelangt diese Frage zu ihrer Lösung, wenn wir den Aschegehalt der Rinde betrachten. Die ältere Rinde vieler Bäume ist als ein wahres Secret anzusehen; die Platane z. B. wirft sie jährlich ab; bei der Kiefer und Birke zeigt sich, wenn auch in unvollkommnerem Maße, eine ähnliche Erscheinung. Vielleicht dient die Rinde auch als Secretionsorgan, d. h. sie nimmt diejenigen Stoffe aus dem Baumsaft auf, welche ausgeschieden werden sollen. Darauf deutet sowohl die Schwankung im Aschegehalt der Rinde überhaupt, als auch in der Zusammensetzung der Rindenasche hin. Wir führen die Analysen einiger Aschen dieser Art an, sie wurden von Saussure untersucht.

	Asche in 1000 Theilen der trockenen Pflanze	Alkalien u. Salze mit alkalischer Basis	Phosphors. Kalk und Bittererde	Eisen, Mangan.	Kohlensaure Erden	Kiesel-Erde
Eichenrinde	60	28,50	3,0	2,00	66,00	1,50
Pappelrinde	72	29,20	5,3	1,50	60,00	4,00
Haselnußrinde	62	56,70	35,0	0,12	8,00	0,25
Morus nigra, Rinde	89	30,13	8,5	1,12	45,00	15,25
Hainbuchenrinde	134	34,88	4,5	0,12	59,00	1,50

9. Chemischer Einfluß der organischen Bestandtheile des Bodens auf die Vegetation.

Wir haben bereits an einem andern Orte (S. 328) nachgewiesen, daß der Kohlenstoff des Holzes nicht unter allen Umständen von den organischen Resten im Boden abgeleitet werden könne. Wir führten als Belege für unsere Ansicht die geringe Humushaltigkeit vieler Bodenarten, z. B. des Flugsandes, der Lava rc. an, auf denen doch die Cultur ohne Anwendung organischen Düngers große Quantitäten Kohlenstoff erzeugt. Es ist weiter berechnet worden, daß die Menge Kohlensäure, welche zu allen Zeiten und an allen Orten in der Atmosphäre enthalten ist, vollständig genügt, um den Gewächsen sämmtlichen Kohlenstoff zu liefern, welchen sie bedürfen, daß somit die Kohlensäure als die allgemeinste Quelle angesehen werden müsse, aus welcher die Pflanzen den Kohlenstoff beziehen können.

Nun wirft sich aber die Frage auf, ob der Humus als solcher von den Vegetabilien aufgenommen werden könne und ob er nicht etwa auf solchen Localitäten, welche reich an organischen Resten sind, neben der Kohlensäure für die Ernährung der Pflanzen von Bedeutung sei.

a. Die löslichen Humussubstanzen können von den Wurzeln der Gewächse aufgenommen werden.

Daß feste, unlösliche Stoffe, seien sie auch noch so fein zertheilt, nicht in die Wurzeln dringen können, ist durch die Versuche Saussure's und Bonnet's bewiesen worden. Saussure ernährte einen Monat hindurch dreißig Pflanzen vom Wasserknöterich (Polygonum Persicaria) und Pfeffermünze (Mentha piperita) mit destillirtem Wasser, welchem er ein bestimmtes Gewicht von sehr fein zertheiltem Kiesel beigegeben hatte, der durch etwas Zuckerlösung in der Flüssigkeit suspendirt erhalten wurde. Er fand nach Beendigung des Versuchs weder bei der Einäscherung der Pflanzen, noch bei der genauen Untersuchung des Rückstandes der eingesaugten Flüssigkeit, daß die Kieselerde merklich in das Gewächs eingedrungen wäre. Bonnet ließ einige Gewächse Tinte aufsaugen; allein der färbende nicht aufgelöste Theil wurde nur in einer unwägbaren Quantität eingesaugt. Er würde in weit größerer Menge durch

die vollkommensten Filtrirgefäße, die wir irgend herzustellen vermögen, durchgegangen sein.

Diese Versuche lassen keinen Zweifel darüber aufkommen, daß der feste, unlösliche Bestandtheil des Humus von den Wurzeln der Pflanzen nicht aufgenommen werden könne.

Etwas anders ist es aber mit dem Humus, wenn er in eine lösliche Form gebracht ist. Wir haben früher gesehen, daß aus der Pflanzensubstanz unter gewissen Umständen Säuren hervorgehen können (Ulmin- und Huminsäure, Geïn-, Quell- und Quellsatzsäure), welche in Wasser löslich sind. Nichts steht der Ansicht entgegen, daß diese Stoffe in die Wurzeln eindringen können. Um so auffallender ist die von Saussure gemachte Beobachtung, daß die Pflanzen aus einer Lösung von Humussäure das Wasser in stärkerem Maße aufnehmen, als die Säure.

Saussure setzte destillirtem Wasser 25% Dammerde-Extract (Humussäure) zu und ließ in der Mischung Pflanzen von Polygonum Persicaria und Bidens cannabina, zwei Sumpfgewächse, vegetiren. Nachdem die Pflanzen die Hälfte der Lösung eingesogen hatten, untersuchte Saussure die zurückgebliebene Flüssigkeit; er fand, daß Polygonum Persicaria nur 10% und Bidens cannabina 12% von der im Wasser befindlichen Humussäure absorbirt hatte.

b. Der löslichen Humussubstanzen sind als directes Nahrungsmittel für die Gewächse ohne besondere Bedeutung.

Wenn auch aus den Versuchen Saussure's hervorgeht, daß die löslichen Humussubstanzen von den Pflanzen aufgenommen werden können, so scheint doch die Art ihres Vorkommens zu beweisen, daß sie in Bezug auf die Ernährung der Gewächse bei weitem keine so hervorragende Rolle spielen, wie die Kohlensäure; es sprechen sogar gewisse Beobachtungen dafür, daß sie der Vegetation schädlich sind, sobald sie dieser im Uebermaß dargeboten werden. Denn überall da, wo die braune Färbung des Boden-Wassers die Gegenwart von Humussäure verräth, gedeihen nur wenige Gewächse; die Erde, welche mit ihr geschwängert ist, bleibt für viele Pflanzen unfruchtbar, auch die Mehrzahl der Waldbäume erträgt die freie Säure nicht gut. Das beweist die kümmerliche Vegetation selbst auf solchen Torfmooren, welchen man durch Abzugsgräben das Uebermaß von Nässe genommen, aber so viel Feuchtigkeit gelassen hat, daß die Humussäure sich löslich erhalten kann. So finden wir denn auch, daß die Fruchtbarkeit des Bodens sich vermehrt, wenn die Humussäure zerstört wird. Dies geschieht z. B. durch Düngung mit Asche, Aetzkalk, durch Trockenlegung des Bodens. Alles dieses bewirkt, daß die Humussäure unlöslich wird und verwest, d. h. Kohlensäure entwickelt.

Es ist früher (S. 136) gezeigt worden, daß die fruchtbare Ackererde nur Spuren von löslichen Humussubstanzen enthält. Wir erinnern an die Un-

tersuchungen Liebig's, welcher in dem Wasserauszug einer guten Gartenerde noch nicht $\frac{1}{100000}$ an organischer Materie fand, wir erinnern daran, daß die Stalactiten in Gewölben und Höhlen humussäurefrei sind, obgleich diese Bildungen durch Verdunsten einer außerordentlich großen Menge Wassers entstehen mußten, welches die Humussäure nicht mit sich fortnehmen konnte.

Aber auch selbst da, wo die Humussäure in reichlichstem Maße vorhanden ist, kann sie den Pflanzen nicht allen Kohlenstoff liefern, welchen dieselben bedürfen. Zum Beweise dieses Satzes folgen wir im Wesentlichen den Argumenten Liebig's.

Berechnen wir zuerst die Menge Humussäure, welche mit dem Regenwasser in die Pflanzen gelangen kann, und nehmen wir, um unser Beweismittel recht überzeugend zu machen, an, daß sämmtliche wässerigen Niederschläge, welche während der Vegetationszeit auf den Boden gelangen, von den Pflanzen aufgesogen werden.

In Deutschland beträgt die Regenmenge während des Frühlings, Sommers und Herbstes durchschnittlich 550 Mmeter, auf den Hectare fallen also 5500000 Kilogramme Wasser. Nach Sprengel löst sich bei 18° C. in 2500 Theilen Wassers 1 Theil Humussäure; 5500000 Kilogr. Wasser können daher 2200 Kilogr. Humussäure aufnehmen. Die von Mulder aus Torf dargestellte Humussäure enthält 69% Kohlenstoff; in 2200 Kil. Humussäure sind also enthalten 1518 Kil. Kohlenstoff. Wir erndten aber von einem Hectare Kiefernwald auf Standorten von mittlerer Güte über 1800 Kil. Kohlenstoff; dieser kann um so weniger aus einer Lösung von Humussäure herrühren, als vom Regenwasser, welches auf den Boden kommt, sogleich ein großer Theil verdunstet, ehe es von den Wurzeln der Bäume aufgenommen wird. Dazu muß man aber noch erwägen, daß im Frühling und Herbst die Verdunstung der Bäume, somit auch die Aufnahme des Wassers durch die Wurzeln sehr schwach ist.

Da die Humussäure mit den Basen lösliche Salze bildet, so könnte man auch wohl unterstellen, daß sie mit den sog. Aschebestandtheilen in das Holz gekommen sei.

Nach den Untersuchungen Vonhausens beträgt der Gehalt an Basen von 3553 Kil. Kiefernholz, welche jährlich auf 1 Hectare produzirt werden, 17,421 Kilogramme; nehmen wir nun an, daß in 100 Theilen eines humussauren Salzes 93% Humussäure enthalten seien, so kommen auf 17,421 Kilogr. Basen 2318 Kil. Humussäure mit einem Kohlenstoffgehalt von 1599 Kilogramm, während der nämliche Kiefernwald jährlich 1846 Kilogr. Kohlenstoff liefert.

Der Kohlenstoffgehalt des Holzes kann also nicht allein von der Humussäure herrühren, wenn auch diese in noch so reichlicher Menge den Holzgewächsen dargeboten würde. Die Wirksamkeit der Humussäure wird aber außerordentlich beschränkt durch ihr geringes Vorkommen in wirklich frucht-

barem Boden, sowie durch die Eigenschaft, nach dem Austrocknen oder Gefrieren aus dem löslichen in den unlöslichen Zustand überzugehen.

c. **Wahre Bedeutung der Humussubstanzen für die Vegetation.**

Wir können nach Maßgabe unseres Systems die Wirkung des Humus hier nur in chemischer Beziehung abhandeln und verweisen hinsichtlich der physikalischen Eigenschaften desselben auf die folgenden Capitel.

Vor Allem muß daran festgehalten werden, daß der eigentliche Waldhumus aus in Verwesung begriffenen Theilen von Organismen, hauptsächlich von Pflanzen, besteht, zu welchen die Luft hinlänglichen Zutritt hat, und daß die viel seltener vorkommenden Humussäuren sich fast immer nur an solchen Orten finden, wo sich Torf erzeugt oder erzeugen kann, also an sehr nassen Stellen, im Hochgebirg u. s. w.

In chemischer Beziehung äußert der Humus einen zweifachen Einfluß auf die Vegetation:

α. Die aus seiner Zersetzung hervorgehenden gasförmigen und anorganischen Stoffe tragen zur Ernährung der Gewächse direct bei.

Die Pflanzen, aus denen der Wald-Humus vorzugsweise sich bildet, bestehen aus Zellengewebe und aus anorganischen Stoffen. Ersteres bildet bei seiner Zersetzung Kohlensäure, Ammoniak, Wasser u. s. w., von denen namentlich die beiden erstgenannten für die Vegetation von Wichtigkeit sind.

Es ist früher ausgeführt worden, daß der Kohlenstoffgehalt eines zehnjährigen Laubabfalles im Buchenhochwalde bei weitem nicht hinreicht, um die über einem Walde ruhende Luftsäule so stark mit Kohlensäure zu versehen, daß dieselbe schädlich für die Vegetation werden könnte. Eine Zuführung von Kohlensäure in die Atmosphäre mit den Mitteln, welche dem Forstmann zu Gebote stehen, bleibt immer nützlich, wird stets eine Vermehrung des Holzzuwachses zur Folge haben. Die Kohlensäure, welche der verwesende Humus entwickelt, darf daher nicht als überflüssig angesehen werden, sie vermehrt den Kohlensäuregehalt der Atmosphäre in einer der Waldvegetation zuträglichen Weise.

Das Nämliche gilt, und vielleicht in einem noch höheren Grade, von dem Ammoniak, von welchem der Stickstoff (im Durchschnitt 1%) des Holzes stammt. Um diesen Stickstoff den Feldcrescentien zu geben, wendet der Landwirth thierischen Dünger an. Da die Waldwirthschaft von diesem keinen Gebrauch machen kann, so muß sie um so höheres Gewicht auf das Ammoniak des Humus legen.

Wenn die Holzfaser bei der Verwesung in ihre einfachen Bestandtheile zerfällt, trennen sich von ihr die anorganischen Stoffe in ähnlicher Weise, wie wenn das Holz eingeäschert wird. Indessen bleiben nach Ablauf des

Verwesungsprozesses die organischen Säuren länger bei den Basen; nach Verfluß einer gewissen Zeit findet man aber doch die Basen an Kohlensäure gebunden; auch die kieselsauren Salze wandeln sich zum Theil in kohlensaure um.

Einerlei, welche Ansicht man über den Zweck hegt, zu dem die anorganischen Stoffe in den Pflanzen bestimmt sind — das läßt sich nicht läugnen, daß die Pflanzen sie nicht entbehren können; die Versuche von Wiegmann und Polstorff gestatten darüber nicht den mindesten Zweifel. Ueberall da, wo Mangel an den löslichen anorganischen Stoffen im Boden ist, werden daher die aus dem Humus sich ausscheidenden von dem größten Nutzen für die Vegetation sein, und es wird in diesem Falle diejenige Humusart am meisten leisten, welche aus solchen Organismen entstanden ist, die viel Asche und namentlich in dieser die selteneren Stoffe enthalten*).

Am aschenreichsten ist die Rinde, sie hat mitunter bis 30mal mehr Asche, als das Holz, doch sind in ihr die selteneren Aschebestandtheile, wie Phosphorsäure, Schwefelsäure, Alkalien gegen den minder werthvollen Kalk zurückgedrängt. Die Blätter und Nadeln stehen in Bezug auf den Aschengehalt der Rinde nicht viel nach, übertreffen diese aber bei weitem durch ihren Reichthum an Alkalien, Phosphorsäure und Schwefelsäure.

	Aschenprozente	Alkalien	Phosphorsäure
Eichenrinde	6,0	28,5	3,0
Eichenblätter	5,3	72,2	24,0
Pappelrinde	7,2	29,2	5,3
Pappelblätter	6,6	51,3	13,0
Fichtennadeln	2,9	40,1	13,3

Die dünnen Zweige zeichnen sich vor dem stärkern Holze durch größern Aschegehalt aus (S. 343). Mit Rücksicht auf die anorganischen Bestandtheile würde also das Leseholz einen guten Humus abgeben.

Die bessern Moose übertreffen das Laub durch ihren Reichthum an Alkalien, Phosphorsäure und Schwefelsäure. Vonhausen untersuchte die Asche von abgefallenem dürren Buchenlaub und einem Moospolster (aus $^2/_3$ Hypnum splendens, $^1/_6$ purum und $^1/_6$ tamariscinum bestehend) und fand von den vorgenannten Stoffen

---

*) Wir haben zwar in dem achtzehnten Buche dieses Werkes die Ansicht ausgesprochen, daß der Waldboden, wenn er nicht durch den Anbau von Agrikulturgewächsen ausgesogen ist, genug anorganische assimilirbare Stoffe enthält, um die Waldvegetation zu ernähren. Da aber unsere Ansicht noch keineswegs allgemeine Gültigkeit erlangt hat, so glaubten wir, um auch den Anhängern einer entgegengesetzten Ansicht gerecht zu sein, den Nutzen, welchen die anorganischen Bestandtheile des Humus der Vegetation unter Umständen leisten könnten, nicht mit Stillschweigen übergehen zu dürfen.

	im Laube	im Moose
an Alkalien	6,21 %	16,30 %
„ Phosphorsäure	4,82 „	11,24 „
„ Schwefelsäure	1,30„	2,73 „

Der Aschegehalt der sogenannten Forstunkräuter ist sehr verschieden nach Gattung und Art. In den Gräsern, Equiseten, Riedgräsern, Binsen, Simsen ꝛc., herrscht die Kieselsäure vor, die Farnkräuter sind reich an Alkalien, die Heidelbeere enthält ebenfalls eine nicht unbedeutende Menge von diesen, so wie von phosphorsauren Erden. (Saussure).

β. **Die aus dem verwesenden Humus sich entwickelnde Kohlensäure trägt zum Aufschluß der mineralischen Bestandtheile des Bodens bei.**

Der Boden ist aus der Verwitterung der Gesteine entstanden; bei dem Zersetzungsprozeß spielt, wie früher ausgeführt wurde, die Kohlensäure eine hauptsächliche Rolle. Sie ist es, welche die Feldspathe aufschließt, die Löslichkeit des kohlensauren und phosphorsauren Kalkes, sowie des Gypses vermehrt ꝛc. Die Wirkung des mit Kohlensäure geschwängerten Wassers auf die Gesteine ist um so kräftiger, je mehr das Wasser von ihr gelöst enthält. Die Mehrzahl der natürlich vorkommenden Gewässer (mit Ausnahme der sogenannten Säuerlinge) sind nicht mit Kohlensäure gesättigt; es ist deshalb von Wichtigkeit, daß der Humus im Boden selbst eine Quelle von Kohlensäure eröffnet, die sogleich von dem Wasser aufgenommen werden kann. Zur Beurtheilung des Einflusses, den die Kohlensäure bei dem Zersetzungsprozeß der Gesteine spielt, erinnern wir nur daran, daß in 10000 Theilen reinen Wassers 1 Theil, in eben so viel mit Kohlensäure gesättigtem Wasser aber 10 Theile kohlensaurer Kalk löslich sind.

Zwölftes Buch.

Einfluß des Lichtes auf die Waldvegetation.

1. Physiologischer Einfluß des Lichtes auf die Vegetation im Allgemeinen.

Daß das Sonnenlicht die Eigenschaft besitzt, anorganische Verbindungen zu Stande zu bringen, oder aufzulösen, ist bekannt. Ein Gemenge von Chlorgas und Wasserstoffgas verbindet sich im Lichte zu Chlorwasserstoffgas; Jodsilber wird vom Lichte zersetzt. Die physiologischen Wirkungen des Lichts sind schon früher angedeutet worden; Ingenhouß fand, daß die Pflanzen, welche Kohlensäure aufgenommen haben, nur dann Sauerstoff aushauchen, wenn sie vom Sonnenlichte getroffen werden. Dabei macht es nur in der Intensität der Sauerstoffgasentwicklung einen Unterschied, ob das Licht direct einfallend oder gebrochen ist. Das Mondlicht vermag nicht, die Zersetzung der Kohlensäure zu bewerkstelligen; es erklärt sich dies auch aus dem geringen Grade seiner Helligkeit, welche nur $\frac{1}{300000}$ von derjenigen des Sonnenlichtes beträgt.

Die Kohlensäure, welche für die Pflanzen wegen der Aneignung des Kohlenstoffs so wichtig ist, wirkt doch nur so lange wohlthätig auf dieselben ein, als sie zugleich das Licht der Sonne genießen können. Während Saussure fand, daß Erbsen in einer Atmosphäre, die zum zwölften Theil kohlensaures Gas enthielt, fröhlich und besser, als in gemeiner Luft wuchsen und ihr Gewicht um 265 Millogramme vermehrten, bemerkte er, daß die nämlichen Pflanzen bei derselben Quantität Kohlensäure im Schatten nur zehn Tage das Leben fristen konnten und nur um 159 Millogramme an Gewicht zunahmen.

Indessen gibt es auch gewisse Pflanzen, welche bei gänzlicher Abwesenheit des Lichtes vegetiren. Diese gehören aber den am niedrigsten organisirten Gruppen an. So findet man in den Schachten vieler Bergwerke Pilze — namentlich aus den Gattungen Byssus und Agaricus — welche dieses Verhalten zeigen. In dem Innern von Früchten erzeugen sich oft Schimmel-Arten bei gänzlichem Abschluß des Lichtes.

Obgleich die höher organisirten Gewächse, insbesondere diejenigen, welche mit Samenlappen keimen, Licht zu ihrem Gedeihen fordern, so ist doch die Quantität, welche sie davon bedürfen, eine sehr verschiedene nach Gattung und Art. Die Ohnblattarten (Monotropa), die Vogelnest-Nagwurz Epipactis Nidus avis, die Stechpalme Ilex Aquifolium z. B. wachsen nur im Schatten; auch der Heidelbeere sagt das direct einfallende Licht nicht zu. Sie verliert sich deßhalb auch gewöhnlich aus den Waldungen, wenn diese kahl abgetrieben werden. Die Haide (Calluna vulgaris) dagegen verschwindet, sobald sie stark beschattet wird.

Die Mehrzahl der Farnkräuter (Filices), Laubmoose (Musci), Lebermoose Hepaticae) und Schwämme (Fungi) verlangen ebenfalls ein zerstreutes Licht und nur wenige von ihnen, wie z. B. Trichostomum canescens, ericoides und lanuginosum, manche Arten von Polytrichum, machen hierin eine Ausnahme. Die Flechten (Lichenes) dagegen werden ebenso oft auf Standorten, wo sie dem directen Lichte ausgesetzt sind, als auch im Schatten gefunden.

Im Gebirge halten viele Pflanzen im Freien aus, welche in der Ebene nur im Schatten gedeihen. So sind z. B. viele höhere Berge im Harz, im Schwarzwald ꝛc. mit Heidelbeeren vollständig überzogen. Es rührt diese scheinbare Abweichung von dem Verhalten in der Ebene daher, weil im Gebirge die hellen Tage viel seltener sind. Die häufigen Nebel und Wolken ersetzen hier den Schatten der Bäume.

Von besonderem Einfluß auf die Farben der Blüthen und das Gefieder der Vögel scheint die Intensität des Lichtes zu sein. In unserem Klima ist die vorherrschende Farbe der Vögel die graue, welche im hohen Norden oft in die weiße übergeht. In den Aequinoctialgegenden zeigen die Mehrzahl der Vögel (z. B. Papageien ꝛc.) die schreiendsten Farben in Roth, Grün, Blau, Gelb, welche unsere Vögel nur an einigen Theilen des Gefieders schmücken.

Die grüne Farbe der Blätter und Stengel der Gewächse rührt von einem eigenthümlichen Farbstoffe — dem Chlorophyll — her, welches in den Zellen meist in Gestalt kleiner Kügelchen eingeschlossen liegt und eine halbweiche Masse bildet. Nach Mulder drückt sich die Formel des Chlorophylls durch $C_{18}\ H_9\ N\ O_3$ aus; dieser Verbindung ist aber immer noch ein Wachs von der Zusammensetzung $C_{15}\ H_{15}\ O$ beigesellt. Häufig enthalten die Chlorophyllpartikelchen im Innern Amylonkörnchen (Mohl). Das Chlorophyll ist nur bei solchen Pflanzentheilen sichtbar, welche dem Lichte ausgesetzt sind; so haben z. B. die langen Triebe der Kartoffeln in den Kellern eine bleiche Farbe, welche sich in Grün umwandelt, sobald sie zu den Kellerfenstern herauswachsen. Mulder erklärt diese Erscheinung in der Weise, daß er annimmt, das Chlorophyll sei ursprünglich, ebenso wie der Indigo im Waid, im farblosen Zustande vorhanden und färbe sich erst durch Oxydation, wozu der Sauerstoff diene, welcher bei der Bildung des Wachses, von welchem das Chlorophyll begleitet ist, frei werde. (Es ist S. 337 auseinandergesetzt worden, daß bei der

Bildung der stickstofffreien Substanzen aus Kohlensäure und Wasser Sauerstoff ausgeschieden wird). Hiernach würde es nicht auffallen, warum das Chlorophyll erst bei Gegenwart von Licht auftritt; wir wissen ja, daß die Sauerstoffgasentwicklung nur im Lichte, nicht in der Dunkelheit vor sich geht. Indessen spricht gegen die Mulder'sche Interpretation der Umstand, daß wohl der indigohaltende ausgepreßte Saft vom Waid ꝛc. sich an der Luft blau färbt, daß dagegen der Saft von Pflanzen, welche im Schatten getrieben haben, unter den nämlichen Verhältnissen keine grüne Farbe annimmt. Nur in der lebenden Pflanze erzeugt sich das grüne Chlorophyll. Im Herbste geht das Chlorophyll in den Blättern in einen gelben Farbstoff (Xanthophyll) über; ob hieran eine Desoxydation Schuld sei, ist noch nicht ausgemacht.

Das Chlorophyll löst sich nicht in Wasser, eher schon in Weingeist und Aether, am leichtesten in verdünnter Salzsäure und in Alkalien. Es gehört eine geringe Menge Chlorophyll dazu, um die Blätter eines großen Baumes grün zu färben; Berzelius fand, daß dazu 10 Gran hinreichten.

Wenn man bedenkt, daß die Bildung von Zucker und ätherischen Oelen aus Kohlensäure und Wasser durch das Licht vermittelt wird, indem dieses die Ausscheidung von Sauerstoff aus den beiden letztgenannten Stoffen bewirkt, so wird man es nicht wunderbar finden, daß der Zuckergehalt und das Aroma mancher Früchte, namentlich der Weintrauben, in solchen Jahren zunimmt, welche viele heitere Sommer- und Herbsttage haben. Doch läßt sich nicht verkennen, daß dabei auch die Wärme eine bedeutende Rolle spielt.

Nach den Versuchen Nöllner's scheint die Art des Lichtes von besonderem Einfluß auf die Fruchterzeugung der Kryptogamen zu sein. Vermuthend, daß das durch die Blätter der Waldbäume gebrochene grüne Licht dazu nöthig sei, pflanzte er die mannigfachsten Arten dieser Gewächse in Walderde, in kleine Glasröhren, bedeckte sie mit einer Glocke von grünem Glase und sah seine Voraussetzung durch den Versuch mit dem schönsten Erfolge gekrönt Alle diese zierlichen Gewächse entwickelten sich unter diesen Umständen mit der größten Ueppigkeit, sie setzten fruchtbaren Samen an. (Liebig).

Von jeher hat man dem Mondlicht einen ganz besonderen Einfluß auf die Organismen zugeschrieben und namentlich richten sich die Gärtner mit vielen Verrichtungen nach dem Stande des Mondes. „Gewisse Samen sollen, bei zunehmendem Mond gesäet, besser gedeihen, als wenn sie bei abnehmendem Mond gesäet werden, Wurzelgewächse sollen bei abnehmendem Mond, in der Luft ihre Früchte entwickelnde, bei zunehmendem Monde besser gedeihen. — In Westindien will man längst die Bemerkung gemacht haben, daß Holz zur Zeit des Vollmondes gefällt, weit leichter springe und faule, und als Nutz- und Werkholz überhaupt schlechter sei, als zu einer andern Mondphase gefälltes; auch in unsern geographischen Breiten will man entsprechende Beobachtungen gemacht haben; nach 20jährigen Beobachtungen vom Oberförster Sauer zu Selan soll alles Holz zur Zeit des Vollmondes gefällt, leichter Risse und

Sprünge bekommen und weit weniger Werth haben, als zur Zeit des abnehmenden Mondes gefälltes; das zur Zeit des letzten Viertels gefällte soll sich am besten zum Bauen und allen Holzarbeiten verwenden lassen, es soll zu dieser Zeit am wenigsten Saft besitzen" (Schübler). Es ist nicht unmöglich, daß die angeführten Erscheinungen mit dem Stande des Mondes zusammenhängen; doch verdienen sie so lange mit Vorsicht aufgenommen zu werden, bis ihre Bestätigung durch eine größere Zahl von Beobachtungen erfolgt. Auch wäre noch zu untersuchen, ob es das Mondlicht selbst ist, welches auf das Gedeihen der Saaten, die Dauer 2c. des Holzes einwirkt, oder ob dieser Einfluß anderen Witterungserscheinungen zukommt, welche gleichzeitig mit gewissen Mondsphasen auftreten.

2. Verhalten der Waldbaumarten gegen das Licht.

Wir haben oben bereits erwähnt, daß die Summe von Licht, welche die Gewächse zu ihrem Gedeihen bedürfen, sehr verschieden nach Gattung und Art ist. Was unsere Waldbäume insbesondere anlangt, so weist die Beobachtung nach, daß kein einziger von ihnen durch die ganze Dauer seines Lebens hin den Schatten liebt; und wenn auch einige eine theilweise Beschattung noch ertragen, so werfen doch alle die größten Masseerträge nur dann ab, wenn sie, von einem gewissen Alter an, der vollen Einwirkung des Lichtes blosgestellt sind. Einige dagegen kommen in der Jugend auf unzubereitetem Boden nur im Schatten gut fort.

a. Holzarten, welche in der Jugend des Schattens bedürfen.

Zu diesen gehören namentlich die Weißtanne (Abies pectinata Dec.), die Fichte (Abies excelsa Dec.) und die Rothbuche. Zu dem Schlusse, daß sie wenigstens in der frühesten Jugend und auf unzubereitetem Boden des Schattens bedürfen, ist man durch die Beobachtung gelangt, daß diese Holzarten im Freien mittelst Saat nicht gut fortzubringen sind, auch im Femelschlagbetrieb nur dann gut gedeihen, wenn bei der Schlagstellung durch eine sorgfältige Auswahl der wegzunehmenden Bäume eine gleichmäßige Beschattung des jungen Nachwuchses von Seiten der stehenbleibenden Stämme herbeigeführt wird.

Indessen ist es sehr wahrscheinlich, daß die Eigenschaft der jungen Tanne, Fichte und Buche, nur im Schatten sich zu erhalten, weniger von der leuchtenden, als vielmehr von der wärmenden Kraft der Sonnenstrahlen abhängt. Es sprechen gewichtige Gründe dafür, daß der Schatten diesen Holzarten hauptsächlich dadurch wohlthätig wird, weil in ihm die, vorzüglich von den Blättern ausgehende, Verdunstung schwächer ist. Denn alle die genannten Holzgewächse, welche auf unzubereitetem Boden im Freien nicht fortkommen, widerstehen der schädlichen Einwirkung der Sonnenstrahlen, sobald sie auf einem gelockerten Boden cultivirt werden. In diesem können die Wurzeln sich mehr verbreiten und mehr Feuchtigkeit aufnehmen, auch besitzt der bearbeitete Boden

vermöge seiner rauhen Oberfläche in höherem Grade die Fähigkeit, Wasserdämpfe aus der Luft zu absorbiren. Deßwegen können wir in den Forstgärten, in denen der Boden mittelst Hacke und Spaten oder mittelst des Pflugs gelockert wird, Saaten von Weißtannen, Fichten und Buchen anlegen; die jungen Pflanzen erhalten sich, ohne daß man nöthig hätte, ihnen künstlich Schatten zu geben.

Die Buche samt sich in der Regel nur unter dem Schutz der Mutterbäume oder einer andern Holzart an, dagegen findet man oft, daß Aecker, welche an Buchenbestände grenzen, ohne Zuthun des Menschen sich mit Buchen überziehen. In der Nähe von Oppenrod bei Gießen ließ ein Bauer einen Acker aus Nachlässigkeit wüst liegen, es samten sich auf diesem von einem in der Nähe befindlichen Buchenbestand so viele Buchen an, daß eine dichtgeschlossene Holzung entstand. Die Pflanzen strotzen von Gesundheit.

Wenn ein Boden an und für sich locker und hinreichend frisch (nicht naß) ist, so brauchen die Tannen-, Fichten- und Buchensämlinge im Sommer bei weitem nicht so viel Schatten, als in trocknen Lagen. Trotzdem hält man auf frischem Boden die Abtriebsschläge dunkler, weil auf diesem die Früh- und Spätfröste häufiger und verderblicher sich einstellen.

In nebelreichen Gebirgsgegenden, in denen der häufig bedeckte Himmel die Wirkung der Sonnenstrahlen schwächt, lassen sich Tannen-, Fichten- und Buchensaaten im Freien eher fortbringen, als in der Ebene. Doch ist dies immer mißlich, denn nach den Erfahrungen bewährter Forstleute mißrathen unter zehn Buchensaaten, die man in dem durch seine starken Nebel ausgezeichneten Vogelsgebirge macht, gewöhnlich neune, und zu der nämlichen Erfahrung ist man im Westerwalde (Nassau), wo ähnliche Verhältnisse stattfinden, gelangt.

b. Holzarten, welche Schatten ertragen.

Viele Holzarten, welche nicht, wie die Tanne, Fichte und Buche, in der Jugend den Schatten gerade verlangen, ertragen ihn doch und erhalten sich am Leben, während andere selbst bei lichter Beschattung eingehen.

So gedeihen z. B. die Schwarzkiefer, die Linde, Wallnuß, zahme Kastanie und die Hainbuche, auf gutem Boden auch wohl noch die Eiche und Esche in der Jugend unter dem Schatten vorgewachsener Bäume, vorausgesetzt, daß dieser nicht zu dicht sei. Wir sehen diese Holzarten sich noch unter geschlossenen Kieferbeständen ansamen und sich so lange erhalten, bis die spätere Auslichtung des Oberstandes ihnen möglich macht, ein kräftigeres Höhenwachsthum zu entwickeln.

In Bezug auf die Fähigkeit, in der Jugend Beschattung zu ertragen, mögen sich die Schwarzkiefer, Linde, Wallnuß und die zahme Kastanie gleichstehen; die Hainbuche ist schon etwas lichtbedürftiger, obwohl sie sich, in Buchen eingewachsen, auf nicht zu schlechtem Boden recht gut mit diesen verjüngt. Jedenfalls erträgt die Hainbuche mehr Schatten, als die Eiche, denn

letztere entwickelt sich im Buchensamenschlag, wenn sie von den Oberständern vollständig beschattet ist, bei weitem nicht so kräftig, als die Hainbuche, es geht die Eiche unter diesen Umständen gewöhnlich ganz ein.

Neuere Beobachtungen haben den Verf. belehrt, daß die Esche auf einem hinreichend mit Feuchtigkeit versehenen Boden etwas mehr Schatten erträgt, als die Eiche.

Uebrigens ist das Wachsthum dieser beiden Holzarten mehr, als dasjenige der vorhergehenden gehindert, wenn sie im Schatten stehen.

Von den Ahornen erträgt der Stumpfahorn (A. pseudoplatanus) in der Jugend etwas mehr Schatten, als der Spitzahorn (A. platanoides), denn ersterer erhält sich in den Buchenabtriebsschlägen eher unter dem Schatten der Oberständer, als der letztere. Die Rüster ist lichtbedürftiger, als die beiden Ahornarten, denn sie kommt, in Kiefernbestände eingesäet, nicht so gut fort, als diese.

Zu den lichtbedürftigsten Holzarten gehören die Kiefer, Birke, Aspe und die Lärche. Niemals findet man in geschlossenen Kiefern- nnd Lärchenbeständen junge Kiefern oder Lärchen. Erscheinen auch wohl Pflänzchen von diesen Holzarten hie und da in solchen Beständen, so kann man fest versichert sein, daß der Kronenschluß an dieser Stelle unterbrochen ist. Die junge Lärche kommt aber selbst in schon ziemlich ausgelichteten Beständen nicht gut fort, und die junge Kiefer zeigt überall da, wo sie beschattet ist, eine sehr schwache Benadelung. Während auf gutem Boden bei der prädominirenden, die volle Einwirkung des Lichtes genießenden, Kiefer 3, selbst 4 Triebe mit Nadeln versehen sind, ist bei unterdrückten, im Schatten stehenden Pflanzen gewöhnlich nur der letzte Trieb benadelt. — Auch die Birke und die Aspe ertragen viel weniger Schatten, als man nach ihrem häufigen Eindrängen in andere Bestände vermuthen sollte; man wird bei genauerer Beobachtung immer finden, daß die Stellen, auf denen sie sich einfinden, von irgend einer Seite her oder gerade von oben Licht erhalten.

c. Lichtbedürfniß der Holzarten in den übrigen Lebensaltern.

Wie schon oben bemerkt wurde, verlangt keine einzige Baumart, nachdem sie einmal die Zeit der Kindheit überstanden hat, Beschattung; der Einzelstamm gedeiht am freudigsten und legt den größten Zuwachs an, wenn er die volle Einwirkung des Lichtes genießt. Dagegen besitzen einige Holzarten die Fähigkeit, auch in späteren Lebensaltern Beschattung zu ertragen. Diese Eigenschaft manifestirt sich in mehrfacher Weise, nämlich

α. durch dichteren oder lichteren Baumschlag,

β. durch die Fähigkeit unterdrückter Stämme, sich längere Zeit in lebendem Zustande zu erhalten.

Was zuerst die Art des Baumschlages anlangt, so bedürfen offenbar diejenigen Holzarten, welche eine dichte Krone besitzen, weniger Licht, als solche

mit lichtem Baumschlag. Denn bei ersteren erhält jedes Blatt im Innern der Krone eine geringere Menge Licht: wenn es nun trotzdem vegetirt, so beweist dies, daß es auch weniger Licht zu seinem Bestehen nöthig hat.

In der forstwirthschaftlichen Praxis spielt die Kenntniß des Verhaltens der Holzarten gegen das Licht eine große Rolle. Sie gibt zur richtigen Auswahl vieler Betriebsoperationen Anleitung. Da wir nun die Bäume bald in geschlossenen Beständen, bald einzeln stehend erziehen, so ist es von Wichtigkeit, zu wissen, wie sich der Baumschlag unter diesen Umständen gestaltet.

Die Beobachtung ergibt, daß freistehende Bäume, welche der vollen Einwirkung des Lichtes ausgesetzt sind, eine viel dichtere Krone besitzen, als im Schlusse. Es rührt dies daher, weil in ersterem Falle das von allen Seiten zugängliche Licht die Erzeugung von Blättern begünstigt. Sehen wir ja doch, daß die Buche und Eiche, wenn sie plötzlich aus dem Schluß in freien Stand gebracht werden, eine Menge Wasserreiser (Schaftloden, Klebäste) entwickeln, daß ein von der Durchforstung übrig gebliebener Stock entweder gar keine, oder bei weitem nicht so kräftige Ausschläge liefert, als der Stock im eigentlichen Niederwalde, wo keine Beschattung von oben her schadet. Auf kräftigem (tiefgründigem, lockerem und hinlänglich frischem) Boden weicht daher der Baumschlag selbst der lichtbedürftigern Holzarten wenig von dem der schattenertragenden ab, und nur im geschlossenen Walde macht sich der eigenthümliche Baumschlag jeder Holzart geltend. Die Mehrzahl der Alleebäume, an welchen wir eine dichte Belaubung zu sehen gewohnt sind, ist im Wald ganz dünnkronig. Dieß gilt namentlich von dem Ahorn, den Obstbäumen, der Rüster, Platane, falschen Acacie (Robinia pseudo-acacia), der Vogelbeere, Elzbeere :c. Die Linde, welche im Einzelstande eine so dichte Krone besitzt, hat im Schluß einen viel lockeren Baumschlag, als die Buche. (Im Habitus haben beide im letztern Fall so viele Aehnlichkeit, daß man sie in einiger Entfernung kaum von einander unterscheiden kann). Die Hainbuche, aus welcher wir undurchdringliche Gartenhecken erziehen, hat im Schlusse eine flatterige Beastung.

Von allen Holzarten besitzen die Tanne und Fichte den dichtesten Baumschlag. Doch ist dieser nicht etwa in der Gedrungenheit der einzelnen Quirle zu suchen. Jeder der letztern ist vielmehr in sich ganz licht, aber es stehen an der Schaftaxe viele Quirle über einander, deren Aeste nicht in der nämlichen senkrechten Ebene liegen. Im jugendlichen Alter haben die Kronen von Tannen und Fichten viele Aehnlichkeit. Im Alter verschwindet diese mehr und mehr, nur das pyramidale Ansehen bleibt ihnen gemeinsam. Die Fichte bekommt Hangelzweige, welche die Belaubung jedes einzelnen Astes sehr dicht in sich machen; die Weißtanne hat diese Hangelzweige nicht, ihre Aeste breiten sich in einen horizontalen Fächer aus.

Von den Laubhölzern kommt der dichteste Baumschlag der Buche zu. Ihre Krone ist kuppelförmig. Die Kronen der Linde, Wallnuß, zahmen Ka-

stanie und der Hainbuche sind nicht so dicht, wie diejenige der Buche, aber immer noch dichter, als die der Eiche.

Der Baumschlag der Weymouthskiefer und der gemeinen Kiefer weicht von dem der Fichte und Tanne vorzüglich darin ab, daß bei beiden die Krone nur aus wenigen Quirlen besteht, weil die unteren Aeste frühzeitig absterben, und daß nur 2—3, auf gutem Boden auch wohl 4 Triebe benadelt sind, während die Tanne und Fichte an 11—12 Trieben die Nadeln behalten.

Noch dünner, als der Baumschlag der Kiefer, ist derjenige der Birke, Aspe und Lärche. Letztere bildet im mittleren Deutschland selbst im Freien keine dichte Krone; im geschlossenen Stand erreicht sie aber gar das Ansehen einer Gerte, die Spitze besitzt nur wenige Aeste.

Bezüglich der Fähigkeit, sich in unterdrücktem Zustande noch grün zu erhalten (Zählebigkeit) stehen die Tanne und Fichte allen übrigen Holzarten voran; wahrscheinlich vermag aber die Tanne noch mehr Schatten (Druck) zu ertragen, als die Fichte. In den Femelschlägen des Schwarzwaldes findet man Weißtannenpflanzen, die in hundert Jahren nur wenige Fuße Höhe erreichen, und der Verf. hat in der Nähe von Gießen eine Fichte gesehen, welche ein Alter von 70 Jahren bei 4 Fußen Höhe besaß. Solche unterdrückte Fichten und Weißtannen erholen sich vollständig wieder, wenn sie in's Freie gebracht werden. Sie schießen in die Höhe und nach einiger Zeit ist ihr Habitus gänzlich verändert. Durch diese merkwürdige Eigenschaft zeichnen sie sich vor allen übrigen Holzarten aus. Diese ertragen wohl alle Seitenschatten wenn nur die Spitze im vollen Lichte steht, aber sie gehen, wenn letzteres nicht der Fall ist, nach einigen Jahren ein; niemals entfalten sie, wenn auch die Ueberschirmung vor ihrem Absterben hinweggeräumt wird, ein kräftiges Höhenwachsthum.

Nach der Tanne und Fichte hält die Buche am meisten Druck aus; ihr steht in dieser Beziehung die Schwarzkiefer nicht viel nach; bei letzterer deutet schon das Sitzenbleiben der Nadeln am Stamm darauf hin, daß sie Beschattung erträgt. Am empfindlichsten gegen Ueberschirmung sind die Lärche, Birke, Aspe, Rüster und gemeine Kiefer. Ordnen wir die Holzarten nach ihrer Fähigkeit, sowohl in der Jugend, als wie auch späterhin Beschattung zu ertragen, so erhalten wir folgende Reihe *):

*) Der Verf. hat dieselbe zuerst in seiner Schrift: „das Verhalten der Waldbäume gegen Licht und Schatten, Erlangen 1852, bei Enke" aufgestellt und hier nur eine geringe Aenderung an derselben vorgenommen. Der Vater des Verf., C. Heyer, sowie die Herren von Raesfeld und Mördes haben beanstandet, daß die Eiche der Esche vorangestellt sei. Neuere Beobachtungen in verschiedenen Gegenden von Deutschland gaben dem Verf. die Ueberzeugung, daß allerdings die Esche etwas mehr Schatten ertrage, als die Eiche, und es ist dem entsprechend die Eiche in obiger Tabelle als die lichtbedürftigere Holzart eingetragen worden.

Weißtanne, Fichte,
Buche, Schwarzkiefer,
Linde, Wallnuß, zahme Kastanie, Hainbuche,
Esche, Eiche,
Bergahorn, Spitzahorn, Obstbaum, Erle,
Weymouthskiefer,
Gemeine Kiefer,
Rüster,
Birke, Aspe,
Lärche.

d. **Einfluß des Bodens und des Klima's auf die Lichtbedürftigkeit der Waldbäume.**

Die vorhin aufgestellten Regeln sind ganz allgemeiner Natur, sie beziehen sich auf Bodenarten von mittlerer Güte. Ist die Standortsbeschaffenheit der Holzart sehr günstig, so erleidet ihr Verhalten gegen Licht und Schatten bemerkenswerthe Modificationen. Diese bestehen hauptsächlich darin, daß die lichtbedürftige Holzart auf gutem Boden und in milder Lage die Fähigkeit annimmt, im Schatten zu gedeihen und daß umgekehrt die Tanne, Fichte und Buche, welche unter den gewöhnlichen Verhältnissen in früher Jugend Schatten verlangen, auch im Freien fortkommen.

Wie später ausgeführt werden soll, wird die Bodengüte für unsere Waldbäume vornehmlich durch Lockerheit, Tiefgründigkeit und einen angemessenen Feuchtigkeitsgehalt bestimmt. Deßwegen gerathen Saaten von Tannen, Fichten und Buchen in Forstgärten, wo man diese Bedingungen künstlich herstellen kann, auch im Freien ohne Beschattung, sowie im Hochgebirg, wo durch große Luftfeuchte, starke Nebel und häufige Bewölkung des Himmels die Verdunstung der Blätter und grünen Triebe gehemmt wird, und auch im Schwemmboden mancher Flußniederungen würden sich diese Holzarten ganz im Freien recht gut fortbringen lassen, wenn sie nicht hier der Beschattung zum Schutz gegen die an solchen Localitäten heimischen Früh- und Spätfröste bedürftig wären.

Daß lichtbedürftige Pflanzen unter günstigen Standortsverhältnissen auch im Schatten ihr Gedeihen finden können, mögen folgende Beispiele beweisen.

In der milden, mit dem fruchtbarsten Lehmboden ausgestatteten Wetterau (Großherz. Hessen) kommen unter den Obstbäumen auf dem Felde Kartoffeln und Cerealien so freudig fort, als ob der Schatten der Bäume gar nicht vorhanden wäre. Etwas weiter nördlich, bei Gießen und Marburg, wo die Qualität des Bodens sich verringert, sind die Schirmflächen unter den Bäumen kahl.

In den Aequinoctialgegenden verschwindet der Unterschied zwischen lichtbedürftigen und schattenertragenden Holzarten gänzlich. In den Urwaldungen Südamerika's kommen alle Baumgewächse dicht unter einander vor. Unter

dem milden Himmel Italiens rankt sich der Weinstock an Ulmenbäumen in die Höhe, inmitten der Baumkrone erzeugen sich noch die süßesten Trauben; am Rhein muß man den Weinstock ganz im Freien erziehen, man muß zu seinem Anbau vorzüglich die südlichen Hänge der Berge aussuchen, um noch gute Früchte zu erhalten.

Gerade so, wie die Bodenbearbeitung denjenigen Holzarten, welche in der Jugend des Schattens bedürftig sind, Widerstandsfähigkeit gegen die Strahlen der Sonne verleiht, in dem nämlichen Maße macht sie die lichtbedürftigen Holzarten geschickt, im Schatten auszuhalten. Deßwegen kann man in älteren Kiefernbeständen Ahorne, Eschen, auch wohl Rüstern erziehen, wenn man die Saatstelle tüchtig bearbeitet und lockert (Pflänzlingszucht unter Schutzbeständen).

Der Ahorn und die Rüster conserviren sich, unter Buchen gemischt, um so vorzüglicher, je tiefgründiger und frischer der Boden ist. Ihr Widerstandsvermögen gegen den dichten Schatten der Buche wächst in dem Grade, als ihre Entwicklung kräftiger wird.

Im Vogelsgebirge sieht man Birkenbestände sich natürlich, wenn auch unvollkommen, verjüngen; der Spitzahorn kommt daselbst häufig unter dem dichten Schatten der Buche fort. Auch kleinere krautartige Pflanzen gedeihen dort unter dem Schirm der Waldungen; so erscheint, wenn auch nicht sehr reichlich, Oxalis acetosella in Fichtenbeständen. Während bei Darmstadt, in ebener Lage, der Boden in geschlossenen Buchwaldungen nur mit dem abgefallenen, trockenen Laub bedeckt ist, wird er im Vogelsgebirge von Gewächsen der mannigfachsten Art, wie von einem grünen Teppich, überzogen.

Auf dem Schwemmboden der Elbeniederungen bei Lödderitz sah der Verf. die Rüster als Unterholz in Mittelwaldungen cultiviren. Diese Behandlung würde sie auf einem weniger tiefgründigen, weniger lockern und frischen Boden nicht ertragen.

Dreizehntes Buch.

Einfluß der Feuchtigkeit auf die Waldvegetation.

1. Bedeutung des Wassers für die Vegetation.

Es ist bereits an einem andern Orte, als wir von der Zusammensetzung des Holzes handelten, ausgeführt worden, daß der Wasserstoff sowohl der Holzfaser, als auch der in den Holzgefäßen enthaltenen sonstigen Stoffe (Proteinsubstanzen, Amylon, Gummi, Zucker, Pflanzensäuren, Oele ꝛc.) zum größten Theil von zerlegtem Wasser stammt. Wir sahen, daß von den 218,2 Kilogr. Wasserstoff, welche ein Hectare Kieferwald jährlich produzirt, wenigstens 211 Kilogramme auf Rechnung des Wassers kommen, wenn man auch die fehlenden 7,2 Kilogr. von dem Ammoniak, welches dem Holze den Stickstoff liefert, ableitet. Diesen 211 Kilogr. Wasserstoff entsprechen (da das Wasser 11,11% Wasserstoff enthält) ungefähr 1900 Kilogr. Wasser. Diese Quantität ist außerordentlich klein, verglichen mit derjenigen, welche während der Vegetationszeit auf die Fläche eines Hectare fällt. (Wir berechneten dieselbe S. 365. zu 5500000 Kilogrammen für Deutschland). Die durchschnittliche Regenmenge eines einzigen Tages = 18630 Kilogr. würde hinreichen, um dem Holze 9mal so viel Wasserstoff zu liefern, als es im Laufe eines Jahres bedarf. Der Nutzen des Wassers für die Waldvegetation kann daher nicht ausschließlich in seinem Gehalte an Wasserstoff gesucht werden; es spielt vielmehr das Wasser als unmittelbares Nahrungsmittel der Holzgewächse eine ganz untergeordnete Rolle.

Fragen wir nun, wozu die große Menge Wasser nöthig sei, welche die Pflanzen während der Vegetationszeit bedürfen, so kann hierauf bis jetzt noch keine bestimmte Antwort ertheilt werden. Nimmt man an, daß das Wasser deßhalb für die Gewächse unentbehrlich sei, weil es als Lösungsmittel für die anorganischen Stoffe des Bodens diene, so erklärt uns diese an und für sich richtige Unterstellung doch immer noch nicht, warum die Pflanzen eine so außerordentliche große Menge von Feuchtigkeit bedürfen. Das Wasser im Boden enthält so viel an anorganischen Stoffen, daß der Regenfall eines einzigen Monats hinreichen würde, um die Waldbäume mit den Aschenbestand-

theilen zu verstehen, welche für ein ganzes Jahr nöthig sind. Auch als unentbehrliches Vehikel für die Aufnahme der Kohlensäure und des Ammoniaks kann man das Wasser nicht betrachten, weil diese beiden Stoffe auch durch die Blätter aufgenommen werden.

Es scheint, daß die chemischen Prozesse, welche unter dem Einflusse der Lebenskraft in den Zellen (und Gefäßen?) des Holzes vor sich gehen, nicht erfolgen können, ohne daß die Wand jener Organe mit Feuchtigkeit durchdrungen ist, und vielleicht ist hierin der hauptsächlichste Nutzen des Wassers in Bezug auf die Vegetation zu suchen. Diese Interpretation ist aber nichts anderes, als eine Hypothese. Nach dem gegenwärtigen Stande der Pflanzenphysiologie können wir kaum mehr sagen, als daß das Wasser für die Vegetation nothwendig sei; über das „Warum" muß uns die Zukunft belehren.

2. Saftfeuchtigkeit.

Die Zellen und Gefäße, aus welchen das Holz besteht, sind innen hohl und entweder mit Wasser, oder mit Luft gefüllt; außerdem ist aber auch die feste Substanz des Holzes stets mit einer gewissen Menge Feuchtigkeit durchdrungen, welche sich von ihr nur in einer Temperatur, die etwas höher, als der Siedepunct des Wassers liegt, trennen läßt. Die Circulation des Saftes geht vorzüglich in den jüngeren Holzlagen vor sich, und diese enthalten deßwegen immer mehr Wasser, als diejenigen Theile, welche näher an der Schaftaxe liegen; am trockensten ist gewöhnlich das Mark.

Fragen wir, zu welcher Jahreszeit die größte Menge Saft in der Holzpflanze enthalten sei, so können wir nicht zweifeln, daß dies in der Vegetationszeit stattfinde. Indessen sind noch so wenig rationelle Untersuchungen über den Wassergehalt des Holzes gemacht worden, daß sich der Zeitpunkt nicht genau bestimmen läßt. Schübler fand den Wassergehalt am größten im Frühjahr; nach einem Mittel mehrerer Versuche nahm der Saftgehalt von Ende Januar, während trockener Kälte zur Zeit der Ruhe der Vegetation, bis zum Anfang Aprils um 8 % zu; er stieg im Mittel bei 5 zu dieser Untersuchung dienenden Bäumen (Fraxinus excelsior, Acer pseudoplatanus, Aesculus Hippocastanum, Corylus avellana, Abies excelsa) von 39,2 bis 47,2 % oder nahe um $^1/_5$ der ursprünglichen Quantität.

Wenn man die Angaben in den Lehrbüchern vergleicht, so sollte man glauben, der Wassergehalt der einzelnen Holzarten sei außerordentlich verschieden; die Differenzen rühren aber daher, daß das Holz zu verschiedenen Jahreszeiten untersucht wurde. Sie werden sich höchst wahrscheinlich auf einen geringen Betrag zurückziehen, wenn die Bestimmung des Wassergehaltes der Bäume zur Zeit der nämlichen Vegetationsphasen vorgenommen wird. Unter diesen Umständen fand Chevandier, daß die weichen Hölzer (Birke, Aspe, Erle, Weide) mehr Feuchtigkeit enthalten, als die gleichzeitig (im Januar) gefällten harten Holzarten (Buche, Eiche, Hainbuche). Nachstehend lassen wir die Re-

sultate von Hartig's und König's Untersuchungen über den Wassergehalt einiger Holzarten folgen. Es fanden

	Hartig	König		Hartig	König
Fagus sylvatica	39,7%	42,0%	Alnus glutinosa	41,6%	50,0%
Carpinus Betulus	18,6	35,5	Tilia europaea	47,1	49,0
Quercus Robur	34,7	—	Populus tremula	43,7	48,0
„ pedunc.	35,4	40,0	Abies pectinata	37,1	44,0
Acer pseudopl.	27,0	37,0	Abies excelsa	45,2	48,0
Ulmus campestris	44,5	41,0	Pinus sylvestris	37,7	48,0
Fraxinus excelsior	28,7	38,0	Larix europaea	48,6	48,0
Betula alba	30,8	40,0			

Benutzen wir diese Zahlen zu nichts, als um die Grenzen zu bestimmen, innerhalb welcher der Feuchtigkeitsgehalt des reifen Holzes schwankt. Diese betragen also 18 bis 50%. Andere fanden aber für das Maximum noch höhere Werthe, sogar bis 60%.

Die Mehrzahl der Untersuchungen stimmt darin überein, daß der Saftgehalt von dem Wurzelstock nach unten und oben hin zunimmt. Am meisten Saft enthalten die Blätter und grünen Triebe. Nach Schübler haben die jüngeren Zweige oft doppelt so viel Wasser, als das ältere Holz; bei einem Hollunder, welcher im Juli 6 Absätze (Internodien) angesetzt hatte, zeigten die einzelnen Zwischenstücke von einer Blattausbreitung zur andern in der Menge der wässerigen Bestandtheile folgende Verschiedenheiten. Der Wassergehalt

des vorjährigen Holzes	war	40	Procent
„ 1sten Internodiums	„	56	„
„ 2 „ „	„	70,7	„
„ 3 „ „	„	80,0	„
„ 4 „ „	„	82,8	„
„ 5 „ „	„	85,4	„

In den jüngsten Trieben war daher der Wassergehalt mehr als doppelt so groß, als im vorjährigen Holz.

Bei einem mittleren Feuchtigkeitsgehalte von 40% würde der jährliche Zuwachs eines Kiefernwaldes, den wir früher beispielsweise zu 3551,9 Kilogrammen ganz trockner Materie berechnet haben, ungefähr 2368 Kil. Wasser in sich fassen; die Holzmasse eines 60jährigen Bestandes enthielte unter der nämlichen Annahme 142116 Kilogramm Wasser. Diese Quantität könnte der durchschnittliche Regenfall von etwa 8 Tagen beschaffen.

Aber nicht alles Wasser, welches die meteorischen Niederschläge (Regen, Schnee 2c.) dem Boden zuführen, ist für die Pflanzen verwendbar; sehr viele Feuchtigkeit verdunstet wieder, ehe sie von den Gewächsen aufgenommen wurde, und ein beträchtlicher Theil versinkt in die Tiefe und wird unterirdisch

abgeleitet. Auf unebenem Terrain fließt viel Wasser ab, ehe es in den Boden eingedrungen ist.

Dalton berechnet, daß $1/3$ des im Flußgebiete der Themse niedergefallenen Wassers durch diese abgeführt wird, und zu dem nämlichen Resultate gelangte Dausse für die Seine.

Nach den achtjährigen Untersuchungen von Dickinson zu Abbots-Hill in der Grafschaft Herts fließen von der ganzen jährlichen Regenmenge durch eine 3 bis 4 Fuß tiefe Bodenschicht im Mittel $42\frac{1}{2}$ Procent hindurch, $57\frac{1}{2}$ Proc. verdunsten in die Luft, jedoch nicht plötzlich, sondern allmählig, so daß die Verdunstung nicht unmittelbar vom Boden aus, sondern auch von den Pflanzen bewerkstelligt werden kann, welche das Wasser aufgenommen haben. Nach den Jahreszeiten gestaltet sich der Vorgang folgendermaßen:

Monat	Versickert Proc.	Verdunstet Proc.	Regenmenge Zolle
Januar	70,7	29,3	1,847
Februar	78,4	21,6	1,971
März	66,6	33,4	1,617
April	21,0	79,0	1,456
Mai	5,8	94,2	1,856
Juni	1,7	98,3	2,213
Juli	1,8	98,2	2,287
August	1,4	98,6	2,427
September	13,9	81,1	2,639
October	49,5	50,5	2,823
November	84,9	15,0	3,837
December	100,0	0,0	1,641
Mittel	42,3	57,6	Summe 26,614

Daß aber diese Zahlen nur für einen einzigen Fall gelten und daß die Menge des versickerten und verdunsteten Wassers nach der Beschaffenheit des Bodens, namentlich seiner Lockerheit, sowie der Natur des Untergrundes sich abändert, braucht wohl nur angedeutet zu werden.

3. Aufnahme der Feuchtigkeit durch die Gewächse.

Daß durch die Wurzeln Wasser aufgenommen wird, darüber kann kein Zweifel herrschen. Es fragt sich nur, welcher Theil der Wurzel zur Auffaugung der Feuchtigkeit diene. Legt man ein Stück trockne, berindete Wurzel, deren Abschnittsflächen mit Wachs verklebt sind, in Wasser, so findet man nach einiger Zeit, daß dieses in das Holz eingedrungen ist. Es ist also gewiß, daß jeder Theil der Wurzel Feuchtigkeit aufzunehmen vermag. Allein das Auffaugen geht um so langsamer von Statten, je mehr die Wurzel mit abgestorbenem Zellgewebe bekleidet ist, und zieht man die Menge des durch die Blätter verdunsteten Wassers in Rechnung, so kommt man zu dem

Schlusse, daß die noch nicht braungefärbten Würzelchen und namentlich deren Ende, welches blos mit der sogenannten Wurzelhaube bekleidet ist, ein viel stärkeres Aufsaugungsvermögen besitzen müssen. Wie aber das Verhältniß sei, darüber fehlen alle Untersuchungen.

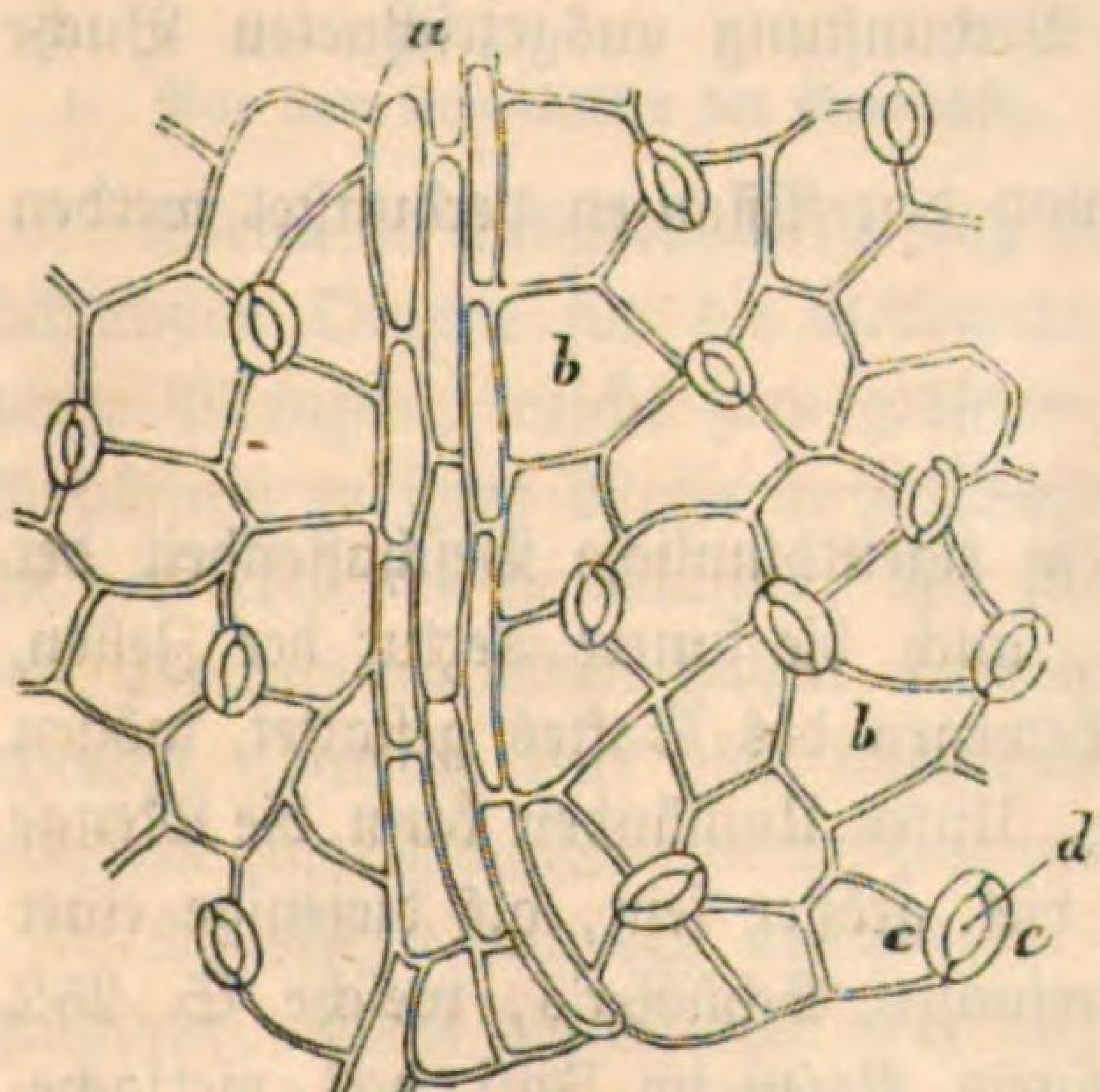
Auch durch die Blätter und Triebe wird Feuchtigkeit aufgenommen. Bonnet fand, daß Blätter, welche er auf Wasser legte, sich lange Zeit frisch erhielten, und Burnett wies das von den Blättern des schwimmenden Laichkrautes (Potamogeton natans) aufgenommene Wasser durch das Gewicht nach. Auch das in Dunstform in der Atmosphäre enthaltene Wasser kann von den Pflanzen benutzt werden. Alle festen Körper besitzen die Eigenschaft, Gase und Dämpfe an ihrer Oberfläche zu verdichten; wenn ein trockenes Blatt sich in der Luft befindet, so wird seine Oberfläche nach einiger Zeit mit einer, freilich sehr dünnen, Wasserschichte bedeckt sein. Denken wir uns nun, daß diese in das Innere des Blattes eindringe, so wird die Außenfläche von Neuem Wasserdampf verdichten, und so kann nach und nach eine merkliche Quantität Feuchtigkeit in das Blatt gelangen.

4. Verdunstung der Gewächse.

Nimmt man eine Pflanze, ohne sie zu verletzen, aus der Erde und setzt sie einige Zeit der Luft aus, so vermindert sich ihr Gewicht, weil das in der Pflanze enthaltene tropfbar flüssige Wasser verdunstet. Die Oberfläche der Gewächse muß also die Eigenschaft besitzen, Wasserdampf zu exhaliren.

Die Verdunstungsfähigkeit kommt in weit höherem Grade den Blättern und jungen Trieben, als den berindeten Theilen des Baumes zu. Duhamel du Monceau verpichte die beiden Abhiebsflächen eines 31 Pfund 3 Unzen 2 Quentchen schweren Klotzes, der eben frisch gefällt worden war; nach Ablauf eines Monats wog dieser Klotz noch 31 Pfund 2 Unzen $2^1/_2$ Quentchen, hatte also nur $7^1/_2$ Quentchen an Gewicht verloren, obgleich er auf einem sehr trockenem Getraide-Boden lag. Bei einem andern ähnlichen Klotz, der aber nicht verpicht worden war, hatte das Gewicht um 1 Pfund abgenommen.

Figur 145.



Eine eigenthümliche Aneinanderfügung der Zellen auf der Oberfläche der Blätter erleichtert die Exhalation des Wasserdampfs. Löst man von der Unterseite eines Platanenblattes ein feines Scheibchen ab (Fig. 145), so bemerkt man die langgestreckten Zellen der Blattnerven a; zwischen den letzteren liegen größere Zellen b und an diesen öfters zwei halbmondförmige Zellen c, c, welche eine Lücke d zwischen sich

lassen. Diese Lücke setzt sich eine Strecke weit in das Innere des Blattes fort bildet also eine förmliche Ausmündung für dasselbe. Man nennt d die Spaltöffnung des Blattes und c c die Spaltöffnungszellen.

Alle Laubholzbäume tragen die Spaltöffnungen auf der Unterseite der Blätter; dies gilt auch von der Mehrzahl der Nadelhölzer. Bei der Weißtanne z. B. sind dieselben auf den beiden weißen Streifen befindlich, welche die untere Fläche der Nadel der Länge nach überziehen; die Fichte und Kiefer enthalten die Spaltöffnungen auf allen Seiten der Nadeln in ebensolchen Streifen, welche mit der Axe der Nadel parallel verlaufen. Die Samenblätter (Cotyledonen) der Gewächse tragen dagegen die Spaltöffnungen meist auf der oberen, dem Lichte zugekehrten Seite.

Einige Physiologen haben die Verdunstung blos von den Spaltöffnungen abhängig machen wollen; dies scheint aber aus dem Grunde nicht richtig zu sein, weil Blätter ohne Spaltöffnungen (z. B. die untergetauchten Blätter mancher Wasserpflanzen) auch Feuchtigkeit verdunsten. Setzt man nämlich solche Blätter außer Communication mit dem Wasser, so vertrocknen sie nach und nach. Wir müssen also annehmen, daß die Membran der Oberhautzellen an und für sich die Eigenschaft besitze, den flüssigen Inhalt der Zellen in Dunstform entweichen zu lassen. Dafür spricht auch schon der Umstand, daß diese Membran am lebenden Blatte mit Feuchtigkeit durchdrungen ist, welche verschwindet, wenn man sie (die Membran) vom Blatte löst. Da die Spaltöffnungen nicht durch die ganze Pflanze hinziehen und bis in die Wurzel reichen, so muß die Feuchtigkeit, um in die Spaltöffnungen zu gelangen, die Membran der angrenzenden Zellen durchdringen.

Nichts desto weniger ist es gewiß, daß die Spaltöffnungen eine große Rolle in dem Verdunstungsprozeß der Pflanzen spielen und jedenfalls fördernd auf denselben einwirken. Denn diejenigen Pflanzen, welche (wie z. B. die Crassulaceen) bestimmt sind, monatelang auf einem trockenen Terrain ohne Regen zu vegetiren, haben verhältniß wenig Spaltöffnungen, während die untere Blattfläche der durch ihre starke Verdunstung ausgezeichneten Buche mit Spaltöffnungen übersäet ist.

Die Menge des Wassers, welches von den Pflanzen verdunstet werden kann, hängt ab:

a. Von Gattung und Art.

Die Anzahl der Spaltöffnungen, die eigenthümliche Beschaffenheit der Membran, welche die Oberfläche bekleidet, auch die innere Textur der Zellen, welche ein mehr oder minder rasches Fortbewegen des Saftes gestattet, mögen hierbei die entscheidenden Momente bilden. Unter Umständen kann die Menge Wasser, welche eine Pflanze verdunstet, viel größer sein, als diejenige einer gleich großen Wasserfläche; nach den Versuchen Schübler's, welche S. 252 mitgetheilt worden sind, betrug sie bei einem Rasen im Juli das vierfache.

So fand Burnett, daß ein Blatt der großen Sonnenblume (Helianthus annuus), welches 31½ Gran wog, binnen 4 Stunden 20 Gran Flüssigkeit ausdünstete.

Ueber die Verdunstung unserer Waldbäume sind bis jetzt noch wenige Untersuchungen angestellt worden, dieselben sind auch mit außerordentlichen Schwierigkeiten verbunden. Klauprecht und Schübler fanden die Menge des innerhalb 24 Stunden verdunsteten Wassers nach Gewichtstheilen des Laubes oder der Nadeln:

Holzart	Klauprecht (Juni, Juli)	Schübler (Aug., Sept.)
Buche	36	46
Eiche	37	45
Birke	29	44
Erle	43	—
Kiefer	11	—
Fichte	10	17
Weißtanne	12	—
Lärche	18	31

Jedoch können diese Zahlen nicht als ein strenger Ausdruck für die Verdunstung, wie sie am Baume stattfindet, angesehen werden, weil die Blätter und Nadeln, welche Klauprecht und Schübler zu ihren Versuchen benutzten, vom Stamme getrennt, also jedenfalls in einem abnormen Zustande waren.

Um festzustellen, ob z. B. ein Laub- oder Nadelholzwald mehr Feuchtigkeit verdunste, muß neben der Exhalationsfähigkeit noch die Anzahl der Blattorgane bekannt sein; die obigen Zahlen bilden deshalb keinen Maßstab für die Verdunstung von ganzen Bäumen oder Beständen. Wenn z. B. ein Weißtannenstand dreimal mehr Nadeln, als ein Buchenbestand Blätter hätte, so würden beide gleich viel verdunsten, wenn schon, nach Klauprecht, die Exhalationsfähigkeit einer Weißtannennadel dreimal geringer ist, als die des Buchenlaubes.

b. Von dem Lebensalter der Gewächse.

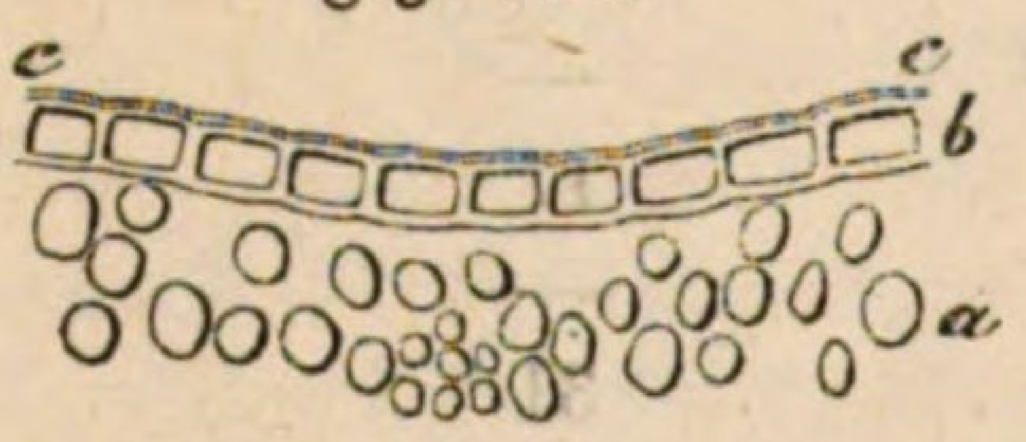
Wenn es ausgemacht ist, daß die Blätter und grünen Triebe die hauptsächlichsten Organe für die Verdunstung sind, so liegt auf der Hand, daß junge Pflanzen, welche zum größern Theil aus diesen Organen bestehen, im Verhältniß zu ihrer Masse mehr Wasser verdunsten müssen, als ältere Bäume. In der That, es ist bekannt, wie sehr die jungen Pflanzen unserer Culturen von Trockniß zu leiden haben, während die mehr erwachsenen Bäume sich erhalten. Freilich darf nicht übersehen werden, daß dem ausgebreiteteren Wurzelsystem eines Baumes eine größere und oft feuchtere Bodenschichte zugänglich ist.

Abgesehen von der Temperatur der Luft rc. scheint die Verdunstung im Frühjahr, wenn die Blätter noch zart sind, am stärksten zu sein. Späterhin nimmt dieselbe in dem Maße ab, als die Oberhaut der Blätter sich mit

Stoffen überlagert, welche dem Austritt von Gasen und Flüssigkeiten hinderlich sind.

Wie früher auseinandergesetzt wurde, enthält der Saft der Bäume zu gewissen Zeiten Dextrin, Zucker, Terpenthinöl ꝛc. Die beiden erstgenannten Substanzen treten mit dem Wasser, in welchem sie aufgelöst sind, durch die Membran auf die Oberfläche derselben, das Wasser verdunstet, und Zucker, oder Dextrin bleiben als ein feiner Ueberzug zurück. Das Terpenthinöl bedarf kein Lösungsmittel; es durchdringt für sich die Membran und verflüchtigt sich zum Theil, während ein anderer Theil unter Aufnahme von Sauerstoff in Harz übergeht. Der blaugraue Reif auf den Blättern des Kohls oder den Zwetschen besteht aus Wachs, welches in einem ätherischen Oel gelöst war. Man nennt diesen Ueberzug auf Blättern, Trieben, Früchten ꝛc., dessen Entstehungsweise so eben erläutert wurde, die Cuticula. Fig. 146 stellt den Querschnitt durch einen Theil des Buchenblattes bei 200facher Vergrößerung dar. a sind die Zellen im Innern, b die Oberhautzellen von der Unterseite des Blattes. Das feine Strichelchen cc über der Zellenreihe bb ist die Cuticula. Es ist begreiflich, daß die Cuticula besonders dann, wenn sie von wachs- oder harzartiger Beschaffenheit ist, die Verdunstung hindern muß, denn Wachs und Harz werden von Wasser nicht benetzt. Die Dicke der Cuticula nimmt mit dem Alter der Blätter ꝛc. zu und ist also mit die Ursache, warum die Verdunstung der Gewächse gegen den Sommer und Herbst hin verhältnißmäßig geringer wird. Wenn trotzdem die Menge des verdunsteten Wassers im Sommer größer ist, als im Frühjahr, so kommt dies auf Rechnung der höhern Temperatur in der wärmeren Jahreszeit.

Fig. 146.



Es ist an einem andern Orte (S. 372.) die Ansicht ausgesprochen worden, daß die junge Weißtanne, Fichte und Buche wohl nur deshalb die volle Einwirkung der Sonnenstrahlen nicht ertragen können, weil sie durch diese zu einer übermäßigen Verdunstung gereizt werden. Indem die Sonne die Blätter dieser Holzarten erwärmt, verflüchtigt sich das Wasser in den Zellen; es entweicht in Form von Dampf. Die Empfindlichkeit gegen die Sonnenstrahlen nimmt aber im Spätsommer und Herbst ab, und man könnte zu dieser Jahreszeit die Pflanze ganz freistellen, wenn nicht die Frühfröste zu fürchten wären. Wahrscheinlich ist es die fortschreitende Bildung der Cuticula, welche die Verdunstung der jungen Tanne, Fichte und Buche im Laufe der Vegetationszeit ermäßigt. In der That bemerkt man bei den Tannen- und Fichtennadeln, welche mit hellgrüner Farbe aus der aufbrechenden Knospe hervorkommen, bald einen bläulichen Anflug schon mit bloßem Auge. Es scheint also, daß diese Pflanzen nur so lange die Wärme der Sonnenstrahlen zu fürchten haben, als sie nicht durch die Cuticula gegen die Verdunstung ihrer Saftfeuchtigkeit geschützt sind.

Man nimmt allgemein an, daß die Nadelhölzer weniger Wasser verdunsten, als die Laubhölzer, und die übereinstimmenden Beobachtungen Klauprechts und Schüblers bestätigen diese Ansicht. Doch muß auch hier die Jahreszeit wohl berücksichtigt werden; Klauprecht stellte seine Untersuchungen im Juni und Juli an, zu welcher Zeit die Nadelhölzer schon getrieben haben.

Fig. 147.



Die Schübler'schen Versuche rühren gar vom August und September her. Wahrscheinlich hätte man für die Tanne und Fichte andere Zahlen gefunden, wenn man die Beobachtungen in den Mai verlegt hätte. Uebrigens erklärt der Terpenthingehalt der Nadelhölzer die geringe Exhalationsfähigkeit der letztern zur Genüge, wenn man gleichzeitig das beachtet, was über die Bildung der Cuticula gesagt wurde. Auch die geringe Verdunstungsfähigkeit, welche Klauprecht für die Kiefernadeln nachgewiesen hat, scheint in einer starken Cuticulaschichte ihren Grund zu haben. Bei einer unversehrten Kiefernadel ist die ganze Oberfläche mit einem blaugrauen Reif bedeckt, der von harziger Beschaffenheit ist. Betrachtet man ihn mit dem Microscop (Figur 147, bei 15facher Vergrößerung), so löst er sich in lauter einfache oder doppelte Streifen auf. Diese enthalten die Spaltöffnungen.

Figur 148.



Auf einem Querschnitt (Fig. 148, bei 200facher Vergrößerung) erblickt man über den Zellen aa der Epidermis die Cuticula b b als ein feines Strichelchen. c stellt eine Spaltöffnung vor.

c. **Von den physikalischen Bedingungen der Verdunstung.** (Man vergleiche S. 248—253).

Hieher gehören die Temperatur, die Luftfeuchte, der Luftdruck, der Luftzug, die Farbe der Blätter 2c.

Durch eine erhöhte Temperatur kann die Verdunstung in zweifacher Weise beschleunigt werden, einmal indem die Blätter 2c. sich erwärmen, wodurch ihr Wassergehalt in Dampf verwandelt wird, zum andern aber durch Erwärmung der Luft, welche die Pflanze umgibt. Letzteres hat zur Folge, daß der relative Feuchtigkeitsgrad der Luft sich vermindert und somit ihr Vermögen, Wasserdampf aufzunehmen, sich erhöht. — Um beispielsweise den Einfluß der Temperatur auf die Gewächse in Zahlen zu zeigen, führen wir folgenden Versuch von Schleiden an. Dieser säete Hafer und Klee in einen hölzernen mit Zink überzogenen Kasten von 1 Q.-Fuß Oberfläche und stellte den Kasten auf eine sehr genaue Brückenwage; jeden Tag wurde die ver-

dunstete Wassermenge durch den erlittenen Gewichtsverlust bestimmt und dieser Verlust durch Begießen ersetzt, wobei der Bodenraum in dem Zustande eines gewöhnlichen guten nicht ausgedörrten Landes gehalten wurde. Der Klee und Hafer entwickelte sich keineswegs sehr üppig wegen der sehr unpassenden Localität, und der Wasserverbrauch durch die Pflanzen würde bei völlig gesunder Entwicklung bei weitem bedeutender ausgefallen sein.

Datum	Zahl der Tage	Mittlere Temperatur	Mittlerer Wasserverlust für 24 Stunden
1) April 12—19	9	11°,55	55,00 Gramme
2) April 29—Mai 8	9	12,52	59,50 "
3) Mai 8—11	3	17,43	102,66 "
4) Mai 27—29	2	14,00	95,00 "
5) Mai 29—Juni 1	3	17,28	133,01 "
6) Juni 7— 8	1	18,66	126,00 "
7) Juni 12—14	2	21,40	227,50 "
8) Juli 19—21	2	21,40	305,00 "
9) Aug. 10—14	4	18,00	190,50 "

„Vergleicht man hier, sagt Schleiden, die Nr. 1, 2, 3 oder 4 und 5 oder 8 und 9, so zeigt sich in diesen Resultaten, daß die Menge des von den Pflanzen verdunsteten Wassers abhängig ist von der Temperatur, die Vergleichung von 3, 5, 9 oder 7 und 8 zeigt, wie die Größe der Verdunstung mit der allmähligen Entwicklung der Pflanze und ihrer Blattfläche steigt, endlich die Vergleichungen von 5 und 6 zeigen den Einfluß der Luftfeuchtigkeit auf die Verdunstung, indem am 7ten und 8ten Juni nach sehr heftigen nächtlichen Regen die Luft auffallend mit Feuchtigkeit erfüllt war."

Die relative Feuchtigkeit der Luft nimmt vom Dezember nach dem August ab, in welchem Monat sie ihren kleinsten Werth erreicht. — Die Luft auf Bergen ist an heitern Tagen trockener, an trüben dagegen feuchter und im Durchschnitt des ganzen Jahres ebenfalls feuchter, als in den Niederungen. Orte an der See genießen einer feuchteren Luft, als Orte im Binnenlande (Holland — Russische Ebene). Aus diesen Verhältnissen erklären sich z. B. die schönen Wiesen, mit welchen England, die herrlichen Graswaiden, mit denen die Alpen geschmückt sind. Die Steppen in der Russischen Ebene sind eine nothwendige Folge der trockenen Luft.

Der Wind beschleunigt die Verdunstung, indem er die mit Feuchtigkeit gesättigte Luftschichte in der Nähe der Blätter entführt und eine weniger feuchte Luft an deren Stelle setzt. Daß durch Verminderung des Luftdrucks die Verdunstung begünstigt wird, ist S. 250 ausführlich erörtert worden. — Dunkel gefärbte Blätter 2c. werden durch die Sonnenstrahlen stärker erwärmt, als solche mit hellerer Farbe, sie lassen daher ihre Feuchtigkeit leichter fahren.

5. Das Aufsteigen des Saftes.

Es ist unter 2. bemerkt worden, daß das Holz im Frühjahr mehr Feuchtigkeit enthält, als im Winter. Die Bäume nehmen also mit dem Eintritt

einer gewissen Temperatur Wasser auf. Dies geschieht durch die Wurzeln, denn viele Bäume sind im Frühjahr noch blattlos, während das Holz bereits mit Saft angefüllt ist.

Löst man im Frühjahr in verschiedenen Höhen eines Stammes Rindenstückchen ab, so sieht man, daß die zunächst den Wurzeln befindlichen Theile früher Saft führen, als die Zweige in der Krone, daß aber auch diese nach und nach mit Feuchtigkeit erfüllt werden. Schneidet man zur geeigneten Zeit den Zweig eines Ahorns, einer Birke oder Weinrebe quer durch, so fließt der Saft aus dem stehenbleibenden Stummel aus. Das Ausströmen findet oft mit großer Kraft statt. Hales setzte auf die Abschnittsfläche eines Weinreben-Zweiges eine Röhre mit Quecksilber und fand, daß dieses durch den austretenden Saft auf 38 Zoll Höhe gehoben wurde, was einem Druck von fast $1^1/_2$ Atmosphäre gleichkommt. Aus allem diesem geht hervor, daß der Saft im Frühjahr von der Wurzel nach der Spitze des Baumes hin aufwärts steigt.

Man hat das Aufsteigen des Saftes durch die Capillarität der Zellen zu erklären gesucht. In der That lassen sich diese als sehr feine Haarröhrchen betrachten. Doch genügt die Capillarattraction keineswegs, um den Saft bis zu den Spitzen großer Bäume emporzuheben, denn nach den Versuchen von Gay-Lussac steigt das Wasser in Röhrchen von $\frac{1}{100}$ Millim. Durchmesser nur 3 Meter hoch. Daß es die Haarröhrchenkraft nicht ist, welche das Aufsteigen des Saftes bewirkt, zeigt das Verhalten gefällter Stämme; einige Zeit nach dem Hieb steigt Wasser, in welches man die Abhiebsfläche taucht, nicht mehr in die Höhe, obgleich die Wandungen der Zellen längere Zeit nach der Fällung keine Veränderungen erleiden, welche sie zum Hervorbringen der Capillarerscheinungen untauglich machen könnten.

Man hat sich daher nach andern Ursachen des Saftaufsteigens umzusehen; wir finden dieselben theils in der sog. Endosmose, theils in der Verdunstung.

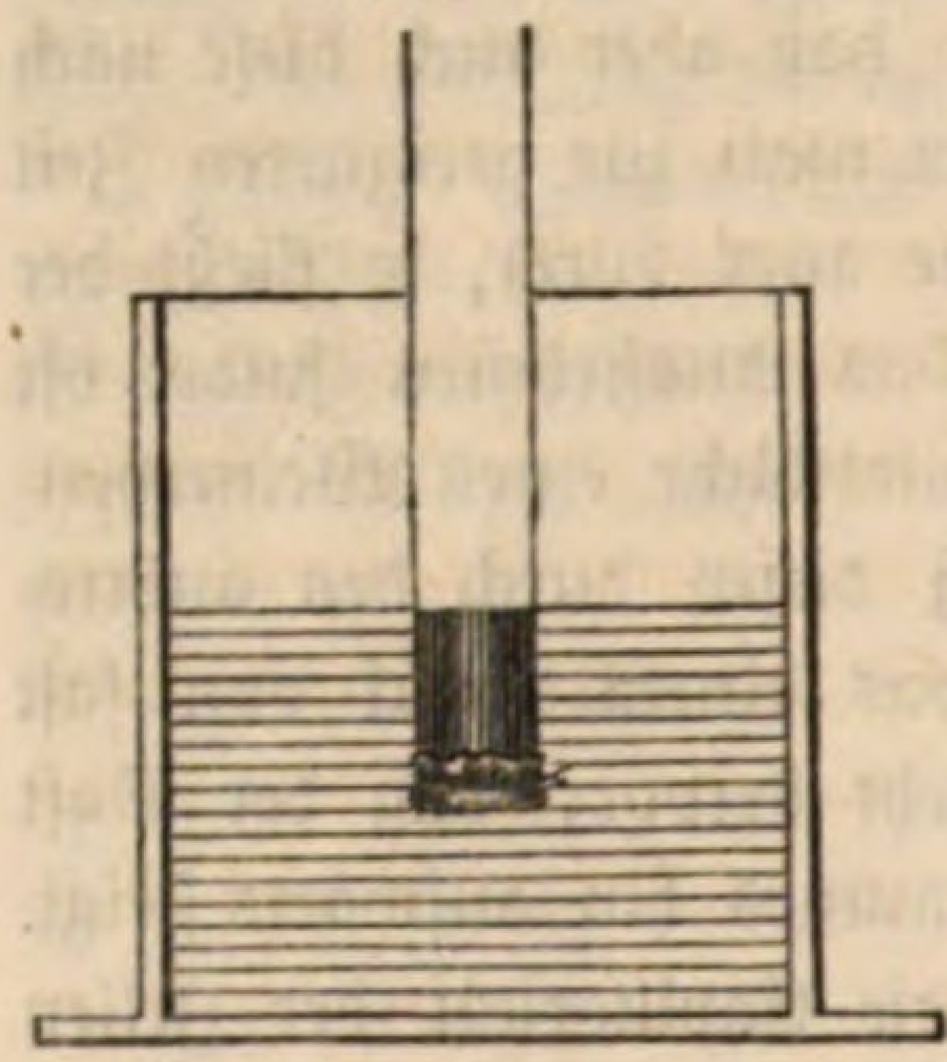
Es ist bekannt, daß gewisse poröse feste Körper von Flüssigkeiten durchdrungen werden. So sickert z. B. Wasser, Weingeist, Aether &c. durch Löschpapier (Filtriren). Andere Substanzen dagegen, deren Poren feiner sind, gestatten den Flüssigkeiten keinen Durchgang. (So kann man z. B. Wasser in einer thierischen Blase oder in gebrannten unglasirten Thongefäßen einige Zeit aufbewahren; seine Menge nimmt dann blos durch Verdunstung an der äußern Oberfläche der von innen benetzten Blase oder des Thons allmählig ab). Hier ist die Anziehung der festen Theilchen, welche eine Pore umgeben, gegen die in der letztern befindliche Flüssigkeit so groß, daß diese die Oeffnung nicht verlassen kann. Deswegen saugt sich z. B. der gebrannte Thon voll Wasser, aber er läßt es nicht durchsickern.

Besitzen aber zwei Flüssigkeiten, welche durch eine solche poröse Wand getrennt sind, chemische Verwandtschaft zu einander, so wird die Anziehungskraft der festen Theile gegen die flüssigen durch das Bestreben, sich chemisch

zu vereinigen, überwunden, und nun tritt die eine Flüssigkeit zu der andern über. Dieser Vorgang, welchen man „Endosmose“ nennt, wurde zuerst von Fischer und Dutrochet beobachtet.

Bindet man z. B. eine an beiden Seiten offene Glasröhre (Fig. 149.) an der einen Seite mit Blase zu, gibt man hierauf etwas Zuckerlösung in die Röhre und hängt sie in einem mit Wasser gefüllten Gefäße so auf, daß die beiden Flüssigkeiten in demselben Niveau stehen, so findet man, daß die Flüssigkeit in der Röhre alsbald steigt. Gleichzeitig vermindert sich ihr Gehalt an Zucker, während das Wasser in dem Gefäße Zucker aufnimmt. Den nämlichen Vorgang beobachtet man, wenn statt des Zuckers Gummi, Dextrin oder Eiweiß in die Röhre gebracht wird. Doch zeigt sich in so ferne ein Unterschied, als die Geschwindigkeit, mit welcher die Endosmose stattfindet, von der Natur der Substanz in der Röhre abhängt.

Fig. 149.



Eine bestimmte Höhe des Flüssigkeitsstandes in der letztern wird nämlich bei Zucker in 2,11, bei Eiweiß in 2,3mal weniger Zeit, als bei Gummi erreicht, oder die Eiweißflüssigkeit steigt in der nämlichen Zeit 2,3, die Zuckerlösung 2,11mal so hoch, als die Gummiflüssigkeit.

Die endosmotische Kraft, mit welcher das Wasser in der Röhre gehoben wird, ist höchst bedeutend. Als Dutrochet statt der vorhin erwähnten geraden Röhre eine mit doppelter Krümmung anwandte, welche an der Krümmung mit Quecksilber gefüllt war, so bemerkte er, daß schon nach Verlauf von zwei Tagen durch das Steigen einer Zuckerlösung das Quecksilber mehr als drei Fuße gehoben wurde, was beinahe einem Druck von $1\frac{1}{2}$ Atmosphären gleich kommt. Bei längerer Fortsetzung eines andern Versuchs fand er, daß das Steigen von Eiweißflüssigkeit mit einem Drucke von $2\frac{1}{2}$ Atmosphären geschah.

Wird in das Gefäß eine schwache, in die Röhre dagegen eine starke Auflösung von Gummi, Zucker 2c. gebracht, so findet gleichfalls Endosmose nach der Röhre hin statt.

Wie früher angegeben wurde, enthalten die Zellen des Holzes Stärkemehl und stickstoffhaltige Substanzen. Im Frühjahr, bei dem Eintritt einer höhern Temperatur geht das Stärkemehl in lösliches Dextrin über, dessen Zusammensetzung ganz genau gleich derjenigen des Gummi's ist. Sobald dieses geschehen ist, nimmt es vermöge der Endosmose Wasser aus den zunächst liegenden Zellen auf. Nun hat man gefunden, daß die Dichte des Saftes mit der Höhe über der Erde wächst. Hoffmann bohrte am 8. März eine Birke in $\frac{1}{4}$ Meter Höhe (A) und in $1\frac{3}{4}$ Metern Höhe (B) an, der Saft von

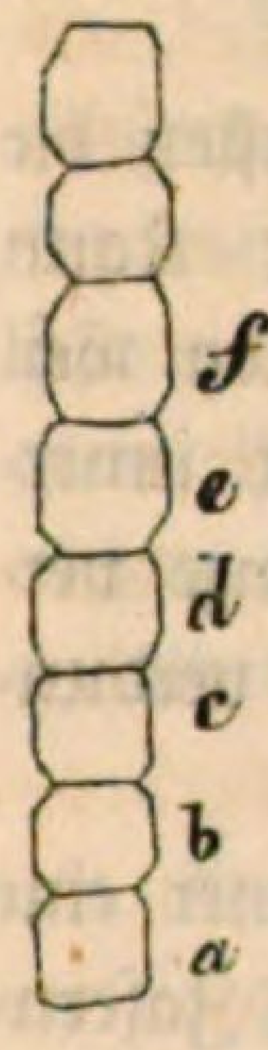
A hatte ein Gewicht von 25,712

B „ „ „ „ 25,717

In Amerika hat man bei der Gewinnung des Ahornzuckers in großartigem Maßstabe die Erfahrung gemacht, daß der Baum um so weniger Saft gibt, je höher man ihn anbohrt, daß dagegen der letztere um so reicher an Zucker wird.

Denken wir uns nun von der Wurzel ausgehend eine Reihenfolge von Zellen (Figur 150.), von denen stets die obere mehr Zucker und stickstoffhaltige Substanz enthält, als die untere, so wird zuerst a aus dem Boden endosmotisch Wasser aufnehmen, von diesem aber alsbald einen Theil an b abgeben. Nun verabfolgt b Flüssigkeit an c, dieses an d, e, f, u. s. f. Gleichzeitig nimmt a wieder Wasser aus dem Boden auf. So entsteht ein fortwährender Saftstrom von der Wurzel nach der Spitze des Baumes hin. Hier angekommen häuft sich der Saft in großer Menge an, er kann, weil sich noch keine Blätter entwickelt haben, nicht durch Verdunstung aus dem Baum entweichen, und die Spannung wächst immer mehr, da der größere Gehalt der Zellen an Zucker, Dextrin und stickstoffhaltigen Substanzen in diesem Theile des Baumes einen fortwährenden Zufluß von Feuchtigkeit aus den untern Parthieen bedingt. So sehen wir denn, daß der Saft mit großer Gewalt ausströmt, sobald wir einen Zweig abschneiden. Wenn Hales beobachtete, daß das Steigen des Saftes in einer Weinrebe mit einem Druck von $2\frac{1}{2}$ Atmosphären vor sich gehe, so findet dies in der Endosmose genügende Erklärung, wie sich aus dem vorhin angeführten Versuche von Dutrochet ergibt.

Fig. 150.



So lange die Pflanze nicht verletzt wird, bleibt auch der Saft in ihr zurückgehalten, aber die Spannung dauert fort. Sie bewirkt, daß der Saft aus den Längszellen in die Markstrahlenzellen, (welche mit jenen durch Tüpfelöffnungen in Verbindung stehen) hineingepreßt wird; nun schwindet der Zusammenhang der Markstrahlenzellen an der Stelle, wo diese Zellen am wenigsten von den benachbarten Längs-Zellen oder Gefäßen eingeengt werden, also zwischen Holz und Rinde, beide trennen sich von einander und der Saft ergießt sich in den leeren Zwischenraum. Dieser Prozeß setzt sich von der Spitze des Baumes nach der Wurzel hin fort und bewirkt die nämliche Erscheinung, als ob der Saft eine eigene rückläufige Bewegung von oben nach unten besitze.

Das Steigen des Frühlingssaftes läßt sich durch die Endosmose allein erklären; nicht so die während der übrigen Vegetationszeit fortdauernde Erhebung des Saftes von der Wurzel nach dem Gipfel hin. Es muß hier irgend ein Act stattfinden, durch welchen die Feuchtigkeit der Pflanze unausgesetzt absorbirt wird, damit ein neues Zuströmen von Wasser erfolgen kann. Diesen Act erblicken wir in der Verdunstung.

Denken wir uns die an der Oberfläche der Blätter und grünen Stengel liegenden Zellen auf endosmotischem Wege mit Feuchtigkeit erfüllt, so wird

diese durch den Verdunstungsprozeß vermindert werden; es befindet sich jetzt in diesen Zellen eine Flüssigkeit von größerem specifischem Gewichte, als in den angrenzenden Zellen, diese werden also Feuchtigkeit an jene abgeben. An der Herstellung des endosmotischen Gleichgewichts nehmen nach und nach alle Zellen des Baumes Antheil, welche mit den oberen in Verbindung stehen; die Aufnahme und Abgabe von Feuchtigkeit setzt sich bis zu den Wurzelzellen fort, welche ihrerseits die Feuchtigkeit aus dem Boden empfangen.

Ist die Luft trocken, oder warm, oder beides zugleich, so verdunsten die Gewächse mehr Feuchtigkeit, als unter entgegengesetzten Verhältnissen. Kann vom Boden aus kein Ersatz des verdunsteten Saftwassers erfolgen, etwa weil derselbe zu trocken ist, so wird nach und nach sämmtliche Feuchtigkeit innerhalb der Pflanze selbst durch die Verdunstung absorbirt, und die Pflanze verwelkt. Der Tod tritt um so schneller ein, je größer die Anzahl der verdunstenden Organe (Blätter ꝛc.) ist.

Wenn stärkere Pflanzen versetzt werden, so verlieren sie immer eine große Menge der zur Auffaugung des Wassers besonders geschickten Zasernwürzelchen. Auf dem neuen Standort wird daher eine solche Pflanze in der nämlichen Zeit nicht so viele Feuchtigkeit aus dem Boden aufnehmen können, als ihr dies auf der früheren Stelle bei ungeschmälertem Wurzelsystem möglich war. Tritt nun ein trockener, die Verdunstung begünstigender Sommer ein, so gehen diese Pflanzen zu Grunde. Will man sie retten oder gleich von vorn herein gegen das Absterben sichern, so muß man sie einschneiden. Es entwickeln sich dann nicht so viele Blätter, als wenn alle Zweige erhalten geblieben wären, und es wird durch die Verdunstung nicht mehr Feuchtigkeit hinweggenommen, als die wenigen Wurzeln zuzuführen vermögen. Das Maß des Einstutzens hat sich also stets nach dem Wurzelverlust zu richten. Daher erklärt es sich denn auch, warum Laubholzstummelpflanzen fast immer sicherer anschlagen, als solche mit ganzem Schafte *). — Den nämlichen Effect erzielt man, wenn man es dahin bringt, daß der Baum an denjenigen Theilen der Wurzeln, welche er beim Verpflanzen behält, viele Zaserwürzelchen

*) Der Verf. läßt in der hiesigen Oberförsterei alle Laubholzpflanzen ohne Ausnahme einstutzen, und zwar werden sie in der Regel ganz abgeworfen; nur für Froststellen, auf welchen immer stärkere Pflanzen verwendet werden, bleibt ein Stück des Schaftes stehen. Erst im verflossenen Frühjahre ließ der Verf. eine Fläche von 60 Morgen mit Buchenstummelpflanzen, welche 2 Centimeter über dem Boden abgeworfen worden waren, bepflanzen; diese Cultur zeigt ein vorzügliches Gedeihen. — Werden stärkere Ahorne, Rüstern, Eschen ꝛc. versetzt, so stirbt gewöhnlich schon nach 1—2 Jahren der obere Theil des Schaftes ab und es entwickeln sich Stockausschläge; man ist dann genöthigt, diese zu entfernen, oder den abgestorbenen Theil des Schaftes abzuschneiden; alles dies läßt sich vermeiden, wenn man solche stärkere Stämmchen gleich von vornherein tüchtig einstutzt, oder, was noch besser ist, über dem Wurzelstock abwirft.

austreibt; dies gelingt am besten in der Weise, daß man 1—2 Jahre vor dem Verpflanzen die Hauptwurzeln in passender Entfernung vom Stamm durchhaut, um die verbleibenden Wurzeln einen ringförmigen Graben zieht, und diesen mit guter (humushaltiger) Erde füllt, welche die Bildung der Zaserwurzeln begünstigt. Dieses Verfahren ist aber nur bei kostbaren Stämmen, Obstbäumen ꝛc. anwendbar.

Da die Auffaugung der Bodenfeuchtigkeit hauptsächlich durch die feinen Zaserwürzelchen stattfindet, diese also die Pflanzen vor dem Verwelken schützen, so muß auf ihre Erzeugung alle Sorgfalt verwandt werden. Beim Verpflanzen hat man darauf zu achten, daß diese Würzelchen nicht vertrocknen; denn ist dies einmal geschehen, so können sie ihre Functionen nicht mehr verrichten, und die Pflanze leidet so lange, bis sie wieder neue Zaserwürzelchen gebildet hat, vorzugsweise durch trockne Witterung.

6. Einfluß des Regens insbesondere.

Die zweifache Rolle, welche das Wasser für die Vegetation übernommen hat — indem es einen Bestandtheil der Gewächse liefert und die für das Leben nothwendige Menge Saftfeuchtigkeit beschafft — wird vorzüglich durch den Regen vermittelt. Er führt den Pflanzen gerade zu der Zeit, in welcher sie am meisten Feuchtigkeit bedürfen, also im Frühjahr und Sommer, das Wasser in tropfbar flüssiger Form zu. Da die Bäume wegen ihrer Höhe mehr den Luftströmungen ausgesetzt sind und in Folge dieses Umstandes zu starkerer Verdunstung angeregt werden, so sind die Regenniederschläge gerade für die Waldungen von besonderer Wichtigkeit.

Die günstige Wirkung des Regens für die Vegetation wird bestimmt durch die Dichtigkeit des Regenfalls, die Anzahl und Vertheilung der Regentage, die Temperatur des Regenwassers ꝛc.

Sehr starke Platzregen, welche auf einmal eine große Wassermenge liefern, sind dem Walde oft nur schädlich. Sie zerstreuen auf den Culturstätten die mit keiner starken Erdbedeckung versehenen Samen, namentlich auf Sandboden und Bauland, schwemmen auf geneigtem Terrain die Samen in die Tiefe und wühlen an solchen Stellen die Erde auf, welche dann durch die während des Regens und nachher auftretenden Fluthen nach den Thälern entführt wird. Ganz besonders verderblich werden die Platzregen da, wo eine geneigte Fläche von Lagen eines festen Gesteins gebildet wird, welches keine Klüfte besitzt, durch die das Wasser nach der Tiefe abziehen könnte. Hier bleibt alles Regenwasser auf der Oberfläche und erzeugt oft in ganz kurzer Zeit bachähnliche Fluthen, welche die Erde schnell abspühlen und dann den nackten Fels zurücklassen. Diese Nachtheile lassen sich da, wo die Mittel vorhanden sind, in der Weise auf ein geringeres Maß zurückführen, daß man an solchen Bergwänden horizontale Terassen mit Gräben anlegt, welche das Wasser seitwärts ableiten. Noch besser wird der Boden gegen die Wirkungen der Platz-

regen durch die Waldungen geschützt, wovon wir an einem andern Orte ausführlicher handeln wollen.

Aus dem Vorhergehenden erhellt auch, warum nach starkem Platzregen und namentlich nach den sog. Wolkenbrüchen, die Flüsse so leicht über ihre Ufer treten.

Die sanften Strichregen, welche keine große Wassermenge auf einmal bringen, wirken sehr günstig auf die Vegetation, wenn sie längere Zeit andauern. Sie dringen nach und nach in den Boden und bis zu beträchtlicher Tiefe ein, ohne ihn zu verwunden; dadurch werden bedeutende Wassermengen im Erdreich aufgespeichert, welche bei nachfolgender trockener Witterung den Gewächsen nachhaltig zu Gute kommen. Von geringerem Nutzen sind die Staubregen, zumal, wenn sie nur kurze Zeit anhalten; gewöhnlich dringen sie nicht tief in die Erde ein, oder verflächen sich auf den Blättern der Bäume.

Ganz besonders wohlthätig für die Vegetation scheinen die Gewitterregen zu sein, wie sich an dem frischeren Grün, welches die Gewächse fast augenblicklich nach solchen Regen schmückt, bemerken läßt. Doch ist es schwierig, die Ursache hiervon aufzufinden. Möglich ist es, daß die Electricität hierbei eine Rolle spiele, größere Bedeutung hat man aber wahrscheinlich dem nicht unbeträchtlichen Ammoniakgehalt des Wassers von solchen Regen beizumessen.

Auch die vermehrte Luftfeuchte, welche noch längere Zeit nach Beendigung eines Regenfalls durch die fortgesetzte Verdunstung des in den Boden eingedrungenen Wassers erzeugt wird, übt einen wohlthätigen Einfluß auf die Vegetation aus.

Da den Holzgewächsen trockne Witterung am meisten zu der Zeit schadet, in welcher ihre Blätter und Nadeln vorzüglich zur Verdunstung geneigt und ihre Triebe noch krautartig sind, also im Frühjahr, so werden sie zu dieser Zeit öfterer Regenniederschläge vorzugsweise bedürfen. Nachdem einmal die Cuticula sich gebildet hat, läßt die Verdunstungsfähigkeit nach, und nun können sie sich schon eher bei trocknem Wetter erhalten. Im Herbste, wenn die Kraft des vegetativen Lebens sich vermindert, wird ein Mangel an Feuchtigkeit schon viel weniger nachtheilig. Aeltere Holzgewächse, deren Wurzeln mehr in die Tiefe gehen, halten mehr Trockenheit aus, als jüngere, deren Wurzeln noch nicht so tief eingedrungen sind, ferner tiefwurzelnde, wie die Kiefer, mehr, als flachwurzelige, wie die Fichte. Auch die Beschaffenheit des Bodens ist hier von Einfluß. Bodenarten, welche eine große wasserhaltende Kraft besitzen, wie z. B. der Lehm, bedürfen seltener der Befeuchtung, als Erdarten, welche leicht austrocknen, wie z. B. der Sand. Auf tiefgründigem Boden, welcher den Holzgewächsen gestattet, längere Wurzeln zu bilden, dauern jene bei trocknem Wetter länger aus, als z. B. auf flachgründigem, unzerklüftetem Fels.

Obgleich die Regenniederschläge, welche im Winter erfolgen, den Gewächsen nicht augenblicklich zu Gute kommen können, so gehen sie darum doch

nicht ganz für die Vegetation verloren. Denn die Winterfeuchtigkeit sammelt sich im Boden an, sie steigt im Frühjahr und Sommer, wenn die oberen Erdschichten durch die Verdunstung ihres Wassergehaltes beraubt worden sind, in die Höhe und wird von den Pflanzen consumirt. Deßwegen sieht der Landwirth trockene Winter nicht gerne.

Die Holzmassenproduction einer Localität wird nicht gerade durch eine große jährliche Regenmenge bedingt, sondern hängt viel mehr von einer passenden Vertheilung der wässerigen Niederschläge ab. Vor Allem ist es erforderlich, daß in der Vegetationszeit kein Mangel an Feuchtigkeit sei, obgleich ein Uebermaß eben so sehr schaden kann, weil in diesem Falle die Temperatur gewöhnlich sich erniedrigt. Auch wird eine allzugroße Bodennässe solchen Saaten verderblich, welche von Moos ꝛc. bedeckt sind, indem diese durch Fäulniß leiden.

Daß der Keimprozeß nur bei hinlänglicher Feuchtigkeit vor sich gehen kann, wurde früher schon erwähnt. Die jungen Pflänzchen sind gegen Trockniß dann am empfindlichsten, wenn sich eben die Blätter der Cotyledonen entwickelt haben, denn mit diesem Act tritt schon Verdunstung ein, während das Würzelchen noch nicht so tief in den Boden gedrungen ist, um die Feuchtigkeit der unteren Erdschichten benutzen zu können. Deßwegen ist trockene Witterung so lange nicht schädlich, als die Samen noch nicht gekeimt haben. Hat dies aber stattgefunden und dauert die Trockniß fort, so gehen die Saaten leicht zu Grunde.

7. Einfluß des Thaues insbesondere.

Die Menge Feuchtigkeit, welche die Pflanzen verdunsten, ist, wie die früher mitgetheilten Versuche Schleiden's und Schübler's zeigen, nicht unbeträchtlich, namentlich in der Periode des vorherrschenden Längenwachsthumes. Bei einem Wasserverbrauch von nur 200 Grammen für den Quadratfuß, wie Schleiden beim Hafer und Klee beobachtete, würden innerhalb 24 Stunden von 1 Hectare 20000 Kilogramme verflüchtigt werden, was einer Wassersäule von 2 Millimetern gleichkommt. Nach Schübler verdunstete 1 Hectare Rasen täglich 100000 Kilogramme, entsprechend einer Wassersäule von 10 Millimetern.

In Deutschland fallen im Sommer innerhalb 24 Stunden durchschnittlich 7—8 Millimeter Regen. Diese könnten also durch die Verdunstung einer Wiese in weniger als einem Tage absorbirt werden; nachher würde es an der nöthigen Feuchtigkeit für den Rasen mangeln, wenn diese nicht von den tieferen Erdschichten beschafft würde. Allein gar oft trocknet im Sommer, wenn es bei großer Hitze viele Wochen lang nicht regnet, die Erde mehrere Fuß tief aus, ohne daß die Pflanzen zu Grunde gehen. Hier erhalten sie die Feuchtigkeit, welche sie zur Verdunstung bedürfen, durch den Thau. Die Bedingungen für die Bildung desselben sind im vorbereitenden Theil dargelegt worden.

Der Thau schlägt sich sowohl auf den Gewächsen selbst, als auch auf dem Boden nieder, aber stets in reichlicherer Menge auf ersteren, namentlich den grünen Theilen derselben, weil diese ein größeres Wärmeausstrahlungsvermögen besitzen und sich deßhalb stärker abkühlen. Melloni bildete die Blätter von Ulmen und Pappeln aus blankem Metallblech nach und setzte jene, wie diese, der nächtlichen Strahlung aus. Die Temperatur des Metalls blieb unverändert, diejenige der grünen Blätter sank 3° unter die der umgebenden Luft. Die Blätter beschlugen sich mit Thau, das Metall erhielt sich trocken.

Der Forstmann hat es gar oft in der Hand, durch Begünstigung der Thauniederschläge die Pflanzen während der trockenen Sommermonate zu erhalten.

In den Verjüngungsschlägen bekleiden sich die Mutterbäume, wenn es Laubhölzer sind, leicht mit Schaftloden (Wasserreisern), in Folge der freieren Stellung und des auf den Schaft fallenden Sonnenlichtes. Diese Schaftloden werden auf trockenen Standorten dem Unterwuchs schädlich; wie man gewöhnlich sagt, dadurch, daß sie den jungen Pflanzen den Thau wegnehmen. In der That bemerkt man, daß in heiteren Nächten die Wasserreiser sich mit Thau beschlagen, während der Unterwuchs trocken bleibt. Die Beobachtung ist richtig, aber die von ihr gegebene Erklärung eine falsche.

Figur 151.



Wie wir früher sahen, liegt eine unerläßliche Bedingung für die Bildung des Thaues darin, daß der zu bethauende Gegenstand eine niederere Temperatur, als die umgebende Luft annimmt. Bei den Pflanzen wird diese Bedingung dadurch leicht erfüllt, weil ihr Wärmeausstrahlungsvermögen dasjenige der Luft übertrifft. Befindet sich aber über der Pflanze ein Gegenstand, welcher die ausgestrahlte Wärme wieder reflectirt, so kann sie sich nicht bis zum Thaupunkt abkühlen. In dieser Weise wirkt z. B. der bedeckte Himmel, weßhalb es bei diesem nicht thaut. Den nämlichen Effect bringen die Schaftloden der Mutterbäume in Verjüngungsschlägen hervor; die Wärmestrahlen (Fig. 151), welche von den jungen Pflanzen ausgehen, werden wieder auf sie zurückgeworfen; ihre Temperatur kann sich nicht in dem Maße erniedrigen, daß ein Thaufall erfolgt. Man

sieht, die Wasserreiser nehmen dem Aufschlag den Thau nicht hinweg, sondern sie erhalten die Pflanzen über der zum Eintritt des Thaupunkts nöthigen Temperatur. Will man diesen Mißstand beseitigen, so hat man die Wasserreiser zu entfernen. Die Instrumente, welche sich hierzu eignen, werden im Waldbau beschrieben.

Oft schon hat man die Beobachtung gemacht, daß Pflanzen auf berastem Boden und trockenem Standort nicht gedeihen, daß sie sich aber wieder erholen, wenn man den Rasen umhacken läßt. Die Erklärung dieser Erscheinung gehört hieher. Der Rasen beschlägt sich nämlich stark mit Thau, weil er ein großes Wärmestrahlungsvermögen besitzt, aber er läßt das Thauwasser nicht bis zum Boden gelangen und in ihn eindringen; so bleibt dieser trocken. Wird der Rasen entfernt und durch das Umhacken die Oberfläche des Bodens gleichzeitig rauh gemacht, so erhält die Erde den Thauniederschlag unmittelbar und, weil rauhe Körper mehr Wärme durch Strahlung verlieren, in reichlicherem Maße.

Das Jäten des Unkrauts, das Behacken der Feldfrüchte und der Beete in den Forstgärten hat stets vermehrte Thauniederschläge auf dem Boden im Gefolge.

8. Schnee, Duft- und Eisanhang insbesondere.

Wie im Vorbereitenden Theile angegeben wurde, erzeugen sich Schnee und Reif (Duft) dann, wenn der in der Luft enthaltene Wasserdampf gefriert. Wird der Uebergang des Wassers aus der gasartigen in die feste Form durch eine Temperaturerniedrigung der Luft selbst zu Wege gebracht, so entsteht Schnee, sind es aber feste kältere Körper, welche den Wasserdampf zum Gefrieren bringen, so nennt man das Aggregat von Eiskrystallen, welcher sich an ihnen anlegt, Duft, Reif, Rauhreif &c.

Der Eisanhang entsteht dann, wenn der Wasserdampf der Luft sich an kälteren Körpern erst zu tropfbar flüssigem Wasser verdichtet und nachher gefriert. Er enthält keine Krystalle, sondern bildet eine amorphe Masse.

a. Der Schnee äußert auf die Waldvegetation sowohl einen günstigen, wie einen schädlichen Einfluß, während vom Duft- und Eisanhang nur das letztere gesagt werden kann.

Günstig wirkt der Schnee in mehrfacher Beziehung. Es speichert sich in ihm während der kältern Jahreszeit eine große Menge Feuchtigkeit auf, welche oft erst im Frühjahr beim Eintritt von wärmerem Wetter aufthaut und dann dem Boden die für den Sommer erforderlichen Nässe verleiht. Am nützlichsten wird das Schneewasser in dem Falle, wenn der Schnee nach und nach aufthaut, während ein rascher Abgang desselben oft Erdabspühlungen und Ueberschwemmungen im Gefolge hat. — Eine dichte Schneedecke sichert die jungen Pflanzen in Verjüngungsschlägen gegen die Beschädigungen, welche dieselben beim Abtreiben, Aufarbeiten und Transportiren des Holzes

erleiden könnten, und dieser Vortheil macht sich namentlich da geltend, wo das Holz geschlittelt oder durch Ueberstülpen aus den Schlägen gebracht wird.

Daß der Schnee die Pflanzen vor dem Erfrieren schützt, daß unter ihm der Boden nicht so stark gefriert ꝛc., werden wir bei der Betrachtung des Einflusses der Wärme erörtern.

Die schädlichsten Wirkungen des Schnees bestehen in dem sogenannten Schneebruch und Schneedruck, und diese werden um so verderblicher, wenn sich dazu noch Duft- und Eisanhang gesellen.

Schneebruch und Schneedruck, unter welchen man das Umbrechen oder Umlegen von einzelnen Bäumen oder ganzen Baumgruppen versteht, treten für sich allein nur dann ein, wenn der Schnee, wenigstens von vornherein, in großen Flocken fällt, welche sich zusammenballen und auf den Aesten liegen bleiben, während der dünnflockige Schnee keinen Halt auf den Zweigen findet, also auf diesen sich nicht in größeren Quantitäten anhäufen kann.

Die Schädlichkeit des Schneebruchs oder Schneedrucks hängt ab

α. Von der Holzart.

Die immergrünen Nadelhölzer gestatten eher ein Auflegen des Schnees auf den benadelten Zweigen, als die zur Zeit des Schneefalls kahlen Laubhölzer und die Lärche. Deßwegen ist auch der Schneeschaden bei diesen ungleich seltener, als bei jenen. Von den Nadelhölzern leiden durch Schneebruch am meisten die gemeine Kiefer und die Schwarzkiefer, weil sie ein brüchiges Holz besitzen.

β. Von dem Holzalter.

Sind die Stämme bereits so weit erstarkt, daß sie unter der Wucht des auf ihnen lastenden Schnees sich nicht biegen können, so werden sie entweder mit der Wurzel ausgerissen, oder es brechen, was häufiger der Fall ist, Aeste oder der Schaft ab. Die Stelle, wo letzteres geschieht, liegt, je nach der Stärke, des Stammes und der Quantität der Schneelast, bald näher, bald weiter entfernt von der Spitze. Bei sehr starken Stämmen werden oft nur die Gipfel ausgebrochen, während bei dünneren Stämmen die Bruchstelle selbst bis zu dem Punkt herunterrücken kann, wo (in geschlossenen Beständen) die letzten grünen Aeste sich befinden. Fichten, welche stark mit Zapfen behangen sind, werden oft schon durch geringere Schneemassen gebrochen. Geharzte Fichten bersten gewöhnlich an den angelachten Stellen.

In jüngeren Beständen, in welchen die Bäume noch dichter stehen, brechen ebenfalls entweder einzelne Stämme, oder es werden ganze Baumgruppen, die oft eine Fläche von mehreren Aren bis zu $1/8$—$1/4$ Hectare einnehmen, vertheilt durch den Bestand hin, zu Boden gedrückt, wobei aber gewöhnlich einzelne Stangen auch gebrochen werden. In Gertenhölzern legen sich aber oft ganze Bestände unter der Wucht des Schnee's nieder, oder es brechen, wenn das Holz so dicht steht, daß es sich nicht legen kann, blos die Gipfel ab.

Auf stark geneigten Flächen und im Hochgebirg, wo der Schneefall an

und für sich stärker ist, als in der Ebene, leiden die jungen Anwüchse und Culturen häufig durch den sogenannten Schneeschub. Der Schnee geräth hier, namentlich wenn er zu thauen anfängt, in eine nach abwärts gehende Bewegung und drückt dabei die Holzpflanzen, welche er überlagert, in der Richtung seines Weges zu Boden. Deßhalb bemerkt man so häufig in den Alpen Stämme, welche vom Wurzelstock aus bogenförmig nach dem Thal hin gekrümmt sind, während der Schaft weiterhin gerade in die Höhe steigt.

Auch in der Ebene legen sich junge Pflanzen dann vorzüglich leicht zu Boden, wenn zwischen ihnen ein starker Graswuchs stattfindet. Das Gras wird vom Schnee gedrückt und nimmt die Pflanzen mit zur Erde hernieder. Läßt man das Gras im Herbst, wo es zu Streu recht gut verwendbar ist, ausrupfen, ausschneiden oder aussicheln, so bleiben die Holzpflanzen gerade stehen.

Nicht selten geschieht es, daß selbst ältere Bäume, welche vom Schnee gedrückt waren, sich wieder von selbst aufrichten; künstlich läßt sich dadurch nachhelfen, daß man die Wipfel einstutzt. Dieses Mittel ist natürlich nur bei Laubholz von Nutzen.

γ. Von der Meereshöhe.

Wenn schon in Deutschland die Tieflagen vom Schneebruch und Schneedruck nicht verschont bleiben, so steht es doch fest, daß die hauptsächlichste Region des Schneeschadens zwischen 300 und 800 Metern Meereshöhe begriffen ist. Weiter hinauf sind die Bestände schon gesicherter, weil in den Hochlagen der Schnee feinflockiger und trockener, d. h. wegen seiner niedrigen Temperatur weniger zum Schmelzen und Zusammenballen geneigt ist.

δ. Von der Exposition und dem Winde.

Auf Südseiten wird feinflockiger Schnee leichter von den Sonnenstrahlen oberflächlich geschmolzen. Tritt nun gegen Abend wieder Kälte ein, so entsteht eine feste Kruste, auf welcher eine große Menge Schnee sich ablagern kann. — Weht ein starker Wind während des Schneefalls, so kann sich der Schnee auf den Aesten nicht anhäufen, weil er beständig abgeschüttelt wird. Doch leidet in diesem Falle auf hügeligem oder bergigem Terrain oft der dem Windzuge entgegengesetzte Einhang, und zwar gerade deßhalb, weil er vor dem Winde geschützt ist. Dieser treibt nämlich, wenn er an der Bergwand hinaufzieht, den Schnee vor sich her bis über den Bergrücken und auf die andere Seite des Abhangs, wo der Schnee mit aller Wucht auf die Bäume drückt, weil der jetzt nachlassende Wind ihn nicht zerstreuen kann. — Stellt sich der Wind erst dann ein, nachdem die Bäume bereits mit Schnee (namentlich festgefrornem) beladen sind, so ist die Gefahr des Schneebruchs größer, weil jetzt durch den Wind der Schwerpunct des Baumes um ein Beträchtliches auf die Seite gerückt werden kann.

ε. Von dem dichteren oder lichteren Stand der Bäume, der Waldbehandlungsart ꝛc.

Die Bäume widerstehen dem Schneebruch und Schneedruck um so eher

je kräftiger sie erwachsen sind. Da nun bei mehr freiem Stande die Schäfte stufiger (kegelförmiger) und die Beastung kräftiger wird, so liegt es nahe, daß dicht aufgeschossene Saatbestände, mögen sie auf künstlichem oder natürlichem Wege entstanden sein, mehr von Schneeschaden zu leiden haben, als Pflanzungen. Diese Voraussetzung wird in der That durch die Erfahrung bestätigt.

Hieraus lassen sich die Mittel ableiten, welche man zu ergreifen hat, um den Wald vor Schneebruch und Schneedruck zu sichern. Sie bestehen also zuerst darin, daß man, wo es die Umstände erlauben, der Pflanzung den Vorzug vor der Saat gibt, ferner, daß man regelmäßig durchforstet, also den Aushieb des dürren und unterdrückten Holzes oft, aber in kleineren Portionen vornimmt. Läßt man eine zu große Menge des Durchforstungsholzes zusammenkommen und wird dieses nachher auf einmal genutzt, so legen sich die übrigbleibenden schwanken Stangen schon durch das eigne Gewicht um; wie viel mehr also, wenn sie noch mit Schnee belastet sind. Nur da, wo die Durchforstungen in größeren Zeitintervallen ausgeführt werden, kann es vorkommen, daß ein eben durchforsteter Bestand mehr von Schneeschaden leidet, als ein nicht durchforsteter. — Mischbestände von solchen Holzarten, welche eine verschiedenartige Beastung besitzen, widerstehen dem Schnee leichter, als reine Bestände, denn in ersteren sind dem Einzelstamme die Bedingungen zu einer kräftigeren Entwicklung geboten. So hat man beobachtet daß die Kiefer in Untermischung mit der Buche, die Lärche mit der Fichte, die Fichte mit der Weißtanne und Buche den Schneedruck aushielt, ohne beschädigt zu werden.

b. Duft- und Eisanhang treten weniger häufig auf, als Schneebruch und Schneedruck, werden aber gewöhnlich viel verderblicher. Da zur Entstehung des Reifes und Glatteises erforderlich ist, daß die Temperatur der Stämme unter diejenige der Luft sinkt, so ist es klar, daß freistehende Bäume mehr vom Duft- und Eisanhang zu leiden haben, als solche im geschlossenen Stande. Wirklich findet man, daß Alleebäume, Randstämme und die Oberständer in Mittelwaldungen diesen beiden Meteoren vorzugsweise unterliegen.

Die Maßregeln, welche man anwenden muß, um die Folgen des Duft- und Eisanhangs zu vermindern, bestehen hauptsächlich darin, daß man solche Betriebsarten vermeidet, bei welchen die Bäume freistehend erzogen werden (Mittelwald, Ueberhalten von Stämmen im Hochwaldbetrieb für die zweite Umtriebszeit), daß man die Bestände recht geschlossen hält, aber doch wieder fleißig genug durchforstet, um einen möglichst kräftigen Bau der Einzelstämme zu erzielen.

Alle diese Vorkehrungen vermögen aber nicht, die Bestände gegen den Eisanhang vollständig zu schützen, wenn dieser, wie es zuweilen geschieht, in großartigem Maßstabe auftritt. Im Jahre 1838 wurden die Waldungen der Wetterau und des Taunus durch einen derartigen Eisanhang beschädigt. Die Eiszapfen, welche sich an den Aesten der Buchen und Eichen ansetzten, hatten

oft eine Länge von mehreren Fußen. Im Taunus wog man verschiedene Aeste und das an ihnen hängende Eis und fand:

	das Gewicht der Aeste	das Gewicht des anhängenden Eises
Buchen	$1\frac{1}{2}$ Pfd.	$13\frac{1}{2}$ Pfd.
Birken	1 "	$9\frac{3}{4}$ "
Sahlweiden	$1\frac{3}{4}$ "	21 "
Fichten	4 "	$25\frac{1}{2}$ "
Kiefern	$1\frac{3}{4}$ "	16 "
"	1 "	$12\frac{1}{4}$ "
	12 "	98 "

Das Holz trug also das 8—9fache seines Gewichtes an Eis.

Denkt man sich nun alle Aeste eines Baumes in dieser Weise mit Eis überzogen, so begreift man, daß selbst der stärkste Stamm einem solchen Eisanhang keinen Widerstand zu leisten vermag.

Luftzug verhindert die Bildung des Rauhreifs und des Glatteises, indem die wärmere Luft die Temperatur der kälteren Theile des Baumes, mit welchen sie in Berührung kommt, erhöht. Hat aber der Duft- und Eisanhang sich einmal erzeugt, dann vermehrt der Wind die Gefahr, indem er den Schwerpunkt des belasteten Baumes auf die Seite schiebt.

Dem Duft- und Eisanhang sind nicht blos die Nadelhölzer, sondern auch die Laubholzarten ausgesetzt.

9. Hagelschaden insbesondere.

Der Schaden, welchen der Hagel, namentlich wenn er in großen Körnern fällt, an den Holzgewächsen verursacht, erstreckt sich auf das Abschlagen der Blätter und Triebe, der Früchte und Blüthen und das Zerstören der jungen Pflanzen auf den Culturstätten und in den Verjüngungsschlägen. Obgleich Hagelschäden in den Waldungen viel seltener zur Kenntniß des Publikums gelangen, als solche in den Feldern, so steht es doch fest, daß die Wälder nicht weniger von Hagelwettern heimgesucht werden, als die Ackerländereien; nur ist der Verlust auf letztern gewöhnlich viel größer, weil selbst der einjährige landwirthschaftliche Rohertrag den Holzzuwachs von mehrern Jahren an Werth übertrifft.

Bei der zweifelhaften Entstehungsart des Hagels hält es schwer, ein Mittel aufzufinden, welches die Gewächse gegen seine Verwüstungen schützen könnte. Von der Ansicht ausgehend, daß der Hagel durch electrische Prozesse hervorgerufen werde, hat man an manchen Orten Stangen, ähnlich den Blitzableitern, aufgerichtet, um die Electricität zu entfernen. Diese Vorrichtung ist aber von keinem Erfolge begleitet gewesen. Das Nämliche gilt von dem Abfeuern von Kanonen 2c.

Vierzehntes Buch.

Einfluß der Luftströmungen auf die Waldvegetation.

1. Günstige Wirkungen des Windes.

a. Luftwechsel.

Wie früher gezeigt wurde, entnehmen die Gewächse der Luft zwei wesentliche Nahrungsstoffe — die Kohlensäure und das Ammoniak. Da beide nur in begrenzter Quantität in der Atmosphäre enthalten sind, so würden die Pflanzen bald ihre Umgebung von diesen zwei Gasen gereinigt haben, wenn nicht fortwährend eine Zufuhr des verbrauchten Materials stattfände. Diese wird bewirkt durch die Diffusion der Gase, in weit höherem Grade aber durch den Wind.

Boussingault fand, daß die Blätter einer Weinrebe, welche er in einen Glasballon eingeführt hatte, die Luft fast gänzlich ihres Kohlensäuregehaltes beraubten, wie groß auch die Geschwindigkeit der Luft war, welche er den Ballon passiren ließ. Die Pflanzen sind also im Stande, sich die Kohlensäure sehr schnell anzueignen, und die Bewegung der Luft muß, was die Beschaffung ihres Hauptnahrungsstoffs anlangt, günstig auf sie einwirken.

Denken wir uns einen Kiefern-Wald von 30 Metern Baumhöhe, so werden in dem Luftprisma, welches mit dieser Höhe auf der Fläche eines Hectare sich aufbaut, 234 Kilogramme Kohlensäure und in diesen 64 Kil. Kohlenstoff enthalten sein. Rechnen wir aber, daß die Bäume selbst einen gewissen Raum einnehmen, den wir beiläufig zu 310 Cubikmetern veranschlagen wollen, so verringert sich die Luftmenge über der Fläche dieses Hectare und mit ihr der Kohlenstoffgehalt auf 60 Kilogramme. Unterstellen wir weiter, daß die benadelten Aeste, welche die Absorption der Kohlensäure vollziehen, den dritten Theil der Baumlänge bekleiden, so wird derjenige Theil des Waldraumes, in welchem die Assimilation der Kohlensäure vor sich geht, 20 Kil. Kohlenstoff enthalten. Nach einer früheren Berechnung (S. 328) kann ein Hectare Kiefernwald der Luft jährlich 1846 und (wenn man die Vegetationszeit gleich 180 Tagen setzt) täglich etwas über 10 Kil. Kohlenstoff entziehen. In zwei Tagen wird also unter diesen Verhältnissen die Luft, welche die Zweige um-

gibt, ihrer Kohlensäure beraubt sein, und nun muß eine Luftströmung eintreten, welche wieder neue Kohlensäure zuführt, wenn nicht der Ernährungsprozeß in Stockung gerathen soll.

Wir sehen also, daß die Bewegung der Luft durch den Wind eine nothwendige Bedingung des Lebens und Gedeihens der Gewächse ist.

In Forstgärten bemerkt man öfters, daß bei Riefensaaten die Pflanzenreihen am Rand der Beete auffallend kräftiger sich entwickeln, als die von ihnen eingeschlossenen inneren Reihen. Da diese Erscheinung auch auf gedüngtem Boden, der einen Ueberfluß an organischen und anorganischen Nährstoffen besitzt, stattfindet, so kann man sie nicht wohl durch den größeren Nahrungsraum, welcher den Wurzeln der Randpflanzen zu Gebote steht, erklären. Viel wahrscheinlicher läßt sich das vollkommnere Wachsthum der letzteren auf Kosten der Kohlensäure und des Ammoniaks schreiben, welche den Randpflanzen immer zuerst durch den Wind, der die Beete bestreicht, zugeführt werden. Da nach den Versuchen von Boussingault die Absorption der Kohlensäure (und auch wohl des Ammoniaks) durch die Pflanzen so außerordentlich schnell von Statten geht, so läßt sich vermuthen, daß die Luft, welche die Randpflanzen passirt hat, ihres Kohlensäure- und Ammoniakgehaltes zum größten Theile beraubt ist, bis sie an die mittleren Reihen der Rinnensaat gelangt.

Das kräftigere Wachsthum der Randstämme höherer Bestände beruht nur zum Theil auf den nämlichen Ursachen, hängt aber wohl hauptsächlich von dem größeren Lichtgenuß ab, welchen die Randstämme empfangen.

Einige Physiologen nennen den Wind ein Reizmittel für die Gewächse, sie haben aber unterlassen, zu erklären, was unter einem solchen zu verstehen sei. Bei der Wahl dieses Ausdruckes hatte man wahrscheinlich die Wirkungen im Auge, welche Gewürze und andere Stoffe auf den thierischen Organismus ausüben. Nun ist aber der Lebensprozeß der Thiere und Pflanzen so durchaus verschieden, daß man bei den letzteren von einem Reizmittel im Sinne der ersteren gar nicht sprechen kann.

b. Einfluß der Luftströmungen auf die Befruchtung der Gewächse.

Es ist hier nicht der Ort, die Bedingungen der Befruchtung der Gewächse ausführlich zu erörtern, weil dieses in das Gebiet der eigentlichen Pflanzenphysiologie gehört. Zum Verständniß des Nachstehenden sei nur Folgendes bemerkt.

Die Befruchtung einer Pflanze findet statt, wenn der Samenstaub (Pollen) mit dem im weiblichen Geschlechtstheil vorgebildeten Eichen in Berührung kommt. Letztere ist bei den nacktsamigen Pflanzen (z. B. den Coniferen) eine unmittelbare, bei denjenigen Pflanzen aber, bei welchen das Eichen von einer Hülle, dem Ovarium, umgeben ist, fällt der Samenstaub auf die Narbe und wächst dann, durch Bildung von Zellen, bis zu dem Eichen hin.

Unter den zahlreichen Hülfsmitteln, welche die Natur benutzt, um den

Samenstaub zu dem weiblichen Geschlechtstheil der Pflanzen gelangen zu lassen, nimmt der Wind eine wichtige Stellung ein. Er hebt die kleinen Pollenkörner von dem Staubbeutel auf und führt sie den zu befruchtenden Eichen zu. Wie weit der Samenstaub durch den Wind transportirt werden könne, sieht man an dem sogenannten Schwefelregen, der nur aus Pollenkörnern, namentlich von Coniferen, besteht. So fiel z. B. zu Anfange dieses Jahrhunderts zu Kopenhagen ein solcher Schwefelregen, durch welchen Wege, Teiche und Dächer mit einem gelben Staube bedeckt wurden. Er stammte von den Fichtenwäldern Mecklenburg's und Pommerns.

Die Vermittlung des Befruchtungsgeschäftes durch den Wind ist vorzüglich für diejenigen Pflanzen von Wichtigkeit, bei welchen die männlichen und weiblichen Blüthen auf verschiedenen Stämmen sitzen. Aber auch bei den einhäusigen Pflanzen ist sie von Bedeutung, indem es bei diesen nicht selten vorkommt, daß die beiden Geschlechter verschiedene Theile des Baumes bewohnen. So sitzen z. B. die Männchen bei der Weißtanne auf den unteren Aesten, die Weibchen aufrecht auf den oberen Zweigen. Hier kann die Befruchtung nur dadurch bewerkstelligt werden, daß der Samenstaub nach oben hin geführt wird.

c. Einfluß des Windes auf die Verbreitung der Samen bei der natürlichen Verjüngung.

Die natürliche Verjüngung der Bestände durch Samen kann in zweifacher Weise geschehen. Entweder man hält auf der zu besamenden Fläche einzelne Bäume (Mutterbäume) über (eigentlicher Femelbetrieb und Femelschlagbetrieb), oder man holzt einen Waldstreifen kahl ab und erwartet die Besamung von einem angrenzenden Bestand (Kahlschlagbetrieb mit natürlicher Verjüngung). Im letzteren Falle wird der Same durch den Wind von den fruchtbaren Bäumen auf die Fläche des Kahlschlags geführt. Es versteht sich von selbst, daß diese Verjüngungsmethode nicht für Holzarten mit schweren Samen (wie die Buche und Eiche) paßt; am ersten ist sie noch bei den Nadelhölzern anwendbar, obgleich sie auch hier schlechte Resultate liefert, indem einestheils die Besamung zu ungleichmäßig ausfällt, anderntheils aber auch die jungen Pflänzchen sehr durch die Randverdämmung des Mutterbestandes leiden.

Die Zapfenschuppen der Nadelhölzer öffnen sich bei trocknem Wetter, schließen sich aber wieder, wenn die Luft feucht wird. Es wird daher der Same vornehmlich mit den trockenen Ostwinden abfliegen. Doch ist die Entfernung, bis zu welcher noch eine hinreichende Besamung erfolgt, nicht groß; sie beträgt für Fichten und Kiefern durchschnittlich zwei, für Lärchen vier bis fünf, für Weißtannen, bei welchen die Samen mit den Schuppen abfallen, kaum eine Stammlänge.

d. Beseitigung der Bodennässe.

Stagnirende Feuchtigkeit, welche gewöhnlich durch einen undurchlassen-

den Untergrund oder durch eine niedere Temperatur veranlaßt wird, können nur wenige von unseren Holzarten ertragen. Die Mehrzahl derselben kümmert auf einem nassen Boden, der außerdem auch zu Frösten neigt, und die Stämme werden leicht rothfaul.

Da, wo sich die Nässe nicht mittelst Gräben, Drainröhren ꝛc. ableiten läßt, bietet Beförderung des Luftzuges ein vortreffliches Mittel, um das schädliche Uebermaß von Feuchtigkeit zu entfernen.

Der Einfluß des Windes beruht in diesem Falle darauf, daß er die über dem nassen Boden schwebende, mit Wasserdampf gesättigte Luftschichte hinwegnimmt und an ihre Stelle eine trockene bringt, welche die Fähigkeit besitzt, von Neuem sich mit Wasserdampf zu beladen. So kann durch den Wind nach und nach die Bodenfeuchtigkeit gänzlich aufgezehrt werden.

Die Herstellung eines geeigneten Luftzuges kann der Forstmann bewirken: durch zweckmäßige Anlage der Schneißen und Wege, durch Vermeidung von sogenannten Sackhieben, Beseitigung der Waldmäntel, regelmäßige Durchforstungen, Entfernung der (sonst nützlichen) Bodensträucher, Anlage geregelter Pflanzungen in nicht zu engem Verband ꝛc.

2. Schädliche Wirkungen des Windes.

a. Entführung der Kohlensäure und des Laubes, Beschleunigung der Humuszersetzung.

Die Kohlensäure, welche sich bei der Verwesung organischer Körper entwickelt, lagert sich, weil sie schwerer als die Luft ist, um die in Zersetzung begriffene Substanz und theilt sich der Luft nur ganz allmählig durch Diffusion mit; so lange sie aber den verwesenden Körper umgibt, schließt sie diesen von dem Sauerstoff der Luft ab, was eine Unterbrechung des Verwesungsprozesses zur Folge hat. Anders ist es, wenn der Wind weht. Nun wird die Kohlensäure schnell entführt und dem Sauerstoff von Neuem Zutritt verschafft. Die Verwesung geht jetzt wieder von Statten, wenn es nicht an Feuchtigkeit mangelt. So kann der Wind bewirken, daß der auf dem Boden befindliche Humus sich schnell verzehrt.

Wie wir später sehen werden, spielt die aus dem Humus sich entwickelnde Kohlensäure als Ernährungsmittel eine untergeordnete Rolle, denn selbst bei noch so reichlichem Humusvorrath wird sich die Holzfaser doch zum größten Theil aus dem Kohlensäuregehalt der Luft bilden. Weit wichtiger ist der Einfluß, den der Humus durch seine physikalischen Eigenschaften äußert. Jede Verzehrung des Humus wird also viel mehr schaden, als nützen. Indem der Wind die Zersetzung des Humus beschleunigt, übt er einen nachtheiligen Einfluß auf das Gedeihen der Waldvegetation aus.

In den Laubholzbeständen beruht die Humuserzeugung vornehmlich auf dem abfallenden Baumlaube; auch dieses wird durch den Wind entweder aus den Beständen entführt, oder doch an einzelnen Plätzen zusammengeweht, wo-

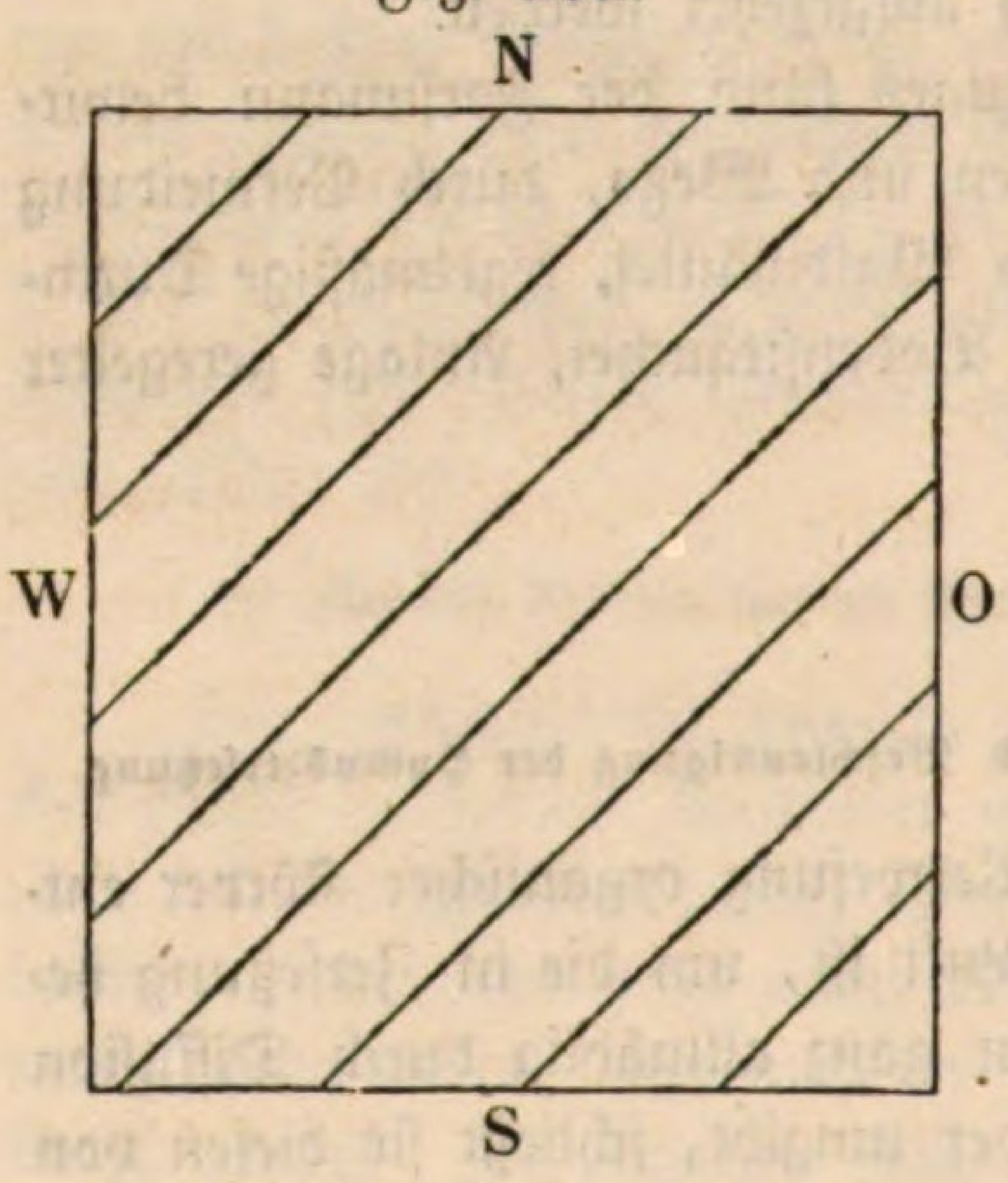
durch andere entblößt worden. Auf den letzteren ergibt sich dann ein Zuwachsausfall, welcher nicht wieder durch die Zuwachsmehrung auf den ersteren ersetzt wird. Zu diesem Nachtheil gesellt sich noch ein anderer: auf dem kahl gewordenen Boden schlägt die natürliche Verjüngung selten gut an.

b. Austrocknende Winde.

Der relative Feuchtigkeitszustand und mit ihm die Austrocknungsfähigkeit des Windes richtet sich einmal nach den Himmelsgegenden, aus welchen der Wind kommt, zum andern nach der Jahreszeit.

In Deutschland sind im Frühjahr und Herbst Ost und Süd im Sommer Ost, Südost, Süd, Nordost und Nord die trockensten Winde.

Fig. 152.



Austrocknende Winde schaden der Waldvegetation in zweifacher Weise, durch Verflüchtigung der nöthigen Bodenfeuchtigkeit und dadurch, daß sie bei den Gewächsen eine übermäßige Verdunstung hervorrufen. Diese Nachtheile machen sich besonders bei den Culturen bemerkbar. Aeltere Holzgewächse werden in unserm Clima durch trockene Winde selten zum Absterben gebracht, wohl aber im Zuwachs zurückgesetzt.

Von den austrocknenden Winden leiden namentlich eben gekeimte Saat pflanzen, weil ihre Würzelchen noch klein sind und nicht viel Feuchtigkeit aus dem Boden aufnehmen können. Vollsaaten lassen sich gegen solche Winde hauptsächlich nur durch tieferes Einlegen der Samen und zeitige Vornahme der Aussaat schützen; Riefen- und Plattensaaten dadurch, daß man einen Theil des Abraums von der Culturstelle an diejenige Kante desselben bringt, welche zuerst von dem austrocknenden Winde bestrichen wird. Die Längserstreckung der Riefen muß winkelrecht auf die Richtung des zu fürchtenden Windes genommen werden. Da nun in Deutschland im Frühjahr Ost und Süd die austrocknendsten Winde sind, so wird man die Riefen in der Richtung von Nordost nach Südwest anzulegen haben. (Fig. 152).

Ballenlose Pflanzen werden durch trocknende Winde mehr beschädigt, als solche mit Ballen; denn erstere bedürfen einige Zeit, bis sie angewurzelt sind und aus dem Boden Feuchtigkeit aufnehmen können. Immerhin ist es nützlich, bei Ballenpflanzen den Lochballen so vor die eingesetzte Pflanze zu legen, daß sie durch denselben gegen den Wind geschützt wird. Alle Mittel, welche dazu dienen, die Verdunstung der Pflanzen zu vermindern, bewahren die letztern auch vor den schädlichen Wirkungen der austrocknenden Winde.

Hierher gehört namentlich das Beschneiden der Zweige und selbst des Schaftes bei den Laubhölzern und der Lärche.

Von austrocknenden Winden haben besonders die Laubholzarten, und unter diesen vorzüglich die Rothbuche zu leiden. Holzgewächse mit steifen, pergamentartigen Blättern, wie z. B. die Eiche, können schon eher Trockniß ertragen. Bei der Rothbuche, welche gewöhnlich natürlich verjüngt wird, läßt sich schon durch geeignete Auswahl, Führung und Stellung der Schläge den Gefahren, welche austrocknende Winde den jungen Pflanzen bringen, vorbeugen. So wird man z. B. einen haubaren jüngeren Buchenbestand, welcher durch einen älteren Bestand von einer weniger durch Trockniß leidenden Holzart geschützt ist, vor diesem verjüngen.

In der „Waldertragsregelung" wird Anleitung zur Berechnung des jährlichen Fällungsquantums gegeben. Es ist nun keineswegs gleichgültig, aus welchen Beständen man dasselbe zu beziehen hat. Oft finden sich gleichaltrige Bestände vor, deren Holzgehalt den Etat von mehrern Jahren decken kann. Bei der Lösung der Frage, an welche Stelle eines solchen Bestandes der erste, zweite rc. Schlag hinzulegen sei, müssen die austrocknenden Winde wohl berücksichtigt werden. Um den jungen Nachwuchs gegen diese zu schützen, wird man die Längserstreckung der Schläge am zweckmäßigsten von Südwest nach Nordost nehmen (Fig. 152.) aber mit dem Anhieb des Waldes in Nordwest beginnen und in Südost aufhören; zugleich darf man die Auslichtung, namentlich gegen den Rand hin, nicht zu stark greifen. Waldmäntel, gebildet aus solchen Holzarten, welche bis zum Boden herab lange Zeit beastet bleiben (Fichte, Weißtanne) geben eine vorteffliche Schutzwehr gegen die trocknenden Winde ab.

Der Ost- und Nordostwind schaden ausnehmend der Fruchtbildung, einestheils wegen ihrer austrocknenden Eigenschaften, sodann aber auch wegen der niedrigen Temperatur, welche diese Winde im Frühling, zur Zeit der Blüthe, besitzen. Die Samenstaubzellen enthalten eine eigenthümliche Feuchtigkeit; sobald sie diese verloren haben, taugen sie nicht mehr zur Befruchtung. Nach Thaer bedarf es nur 24 Stunden Ost- oder Nordostwindes in der Blüthe des Klee's, und der Same wird taub. In den durch Häuser geschützten Gärten der Städte und Dörfer geräth das Obst fast alljährlich; während auf den freien, dem Wind zugänglichen Höhen viel öfter Mißerndten erfolgen.

c. Mechanische Einwirkungen des Windes. Stürme.

Viele Holzarten leiden durch das Wehen des Windes, auch wenn derselbe nicht gerade in Sturm ausartet. So nimmt z. B. die Lärche in der Ebene und in Vorbergen, wenn sie frei gestellt ist, einen krummen Wuchs

an, sie wird windschief. (Im Hochgebirge dagegen, z. B. in den Alpen, wo sie nur sehr kleine Jahrestriebe bildet, wächst sie gerade auf).

An den Küsten des Meeres unterliegt die Holzkultur großen Schwierigkeiten wegen der salzführenden Seewinde, deren fast unausgesetztes Wehen nur wenige Baumarten ertragen, ohne zu kümmern, oder ganz zu verderben. Merkwürdig ist, daß der Seewind unmittelbar an der Küste nicht so schädlich wirkt, als nachdem er bereits eine Strecke Landes zurückgelegt hat.

Wie langjährige Erfahrungen ergeben haben, widersteht an den Küsten der Nordsee die Kiefer den Seewinden am wenigsten, besser schon die Fichte und, wo keine Fröste zu befürchten sind, die Weißtanne, noch mehr die Erle, Esche, Aspe, Vogelbeere, Silberpappel und vor allem die Amerikanische Pinus alba. Doch übt die Exposition nnd die Configuration der Küste auch hierin einen bedeutenden Einfluß aus. Während man an den Küsten von Ostfriesland die Buche als Waldmantel zum Schutze gegen die Nordwestwinde benutzen kann, sterben auf der Nordwestseite der Insel Wangerog alle Bäume ohne Ausnahme ab, sobald sie anfangen, ihre Wipfel über die Dämme und Dünen zu erheben. Dabei nehmen die Blätter bald eine schwarze Farbe an, weshalb der Nordwestwind in der dortigen Gegend der „schwarze Wind" genannt wird.

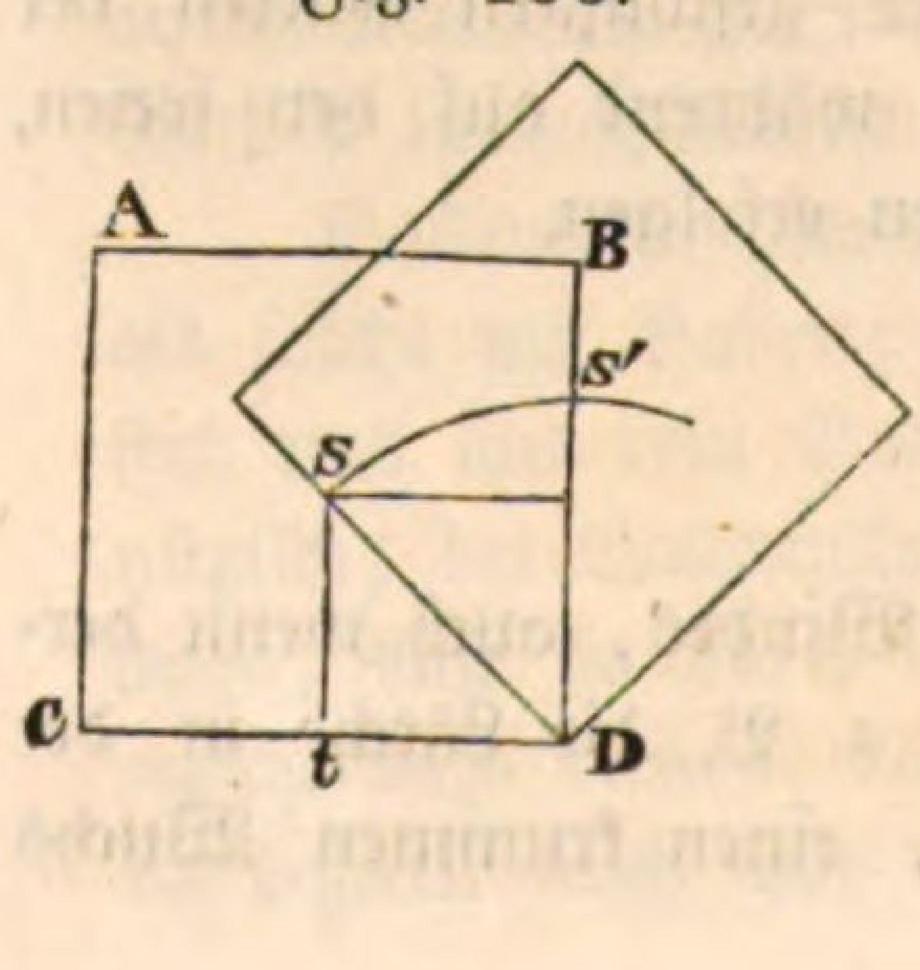
Winde, welche eine Geschwindigkeit von 20 Metern und darüber in einer Sekunde erlangen, rechnet man in unsern Gegenden schon zu den Stürmen. Sie werden den Wäldern dadurch nachtheilig, daß sie entweder einzelne Aeste von den Stämmen trennen, oder den Schaft der Bäume splittern oder brechen, auch die Bäume mit den Wurzeln aus dem Boden heben (sog. Woodse).

Die Gefahr der Winde hängt ab:

α. Von der Holzart.

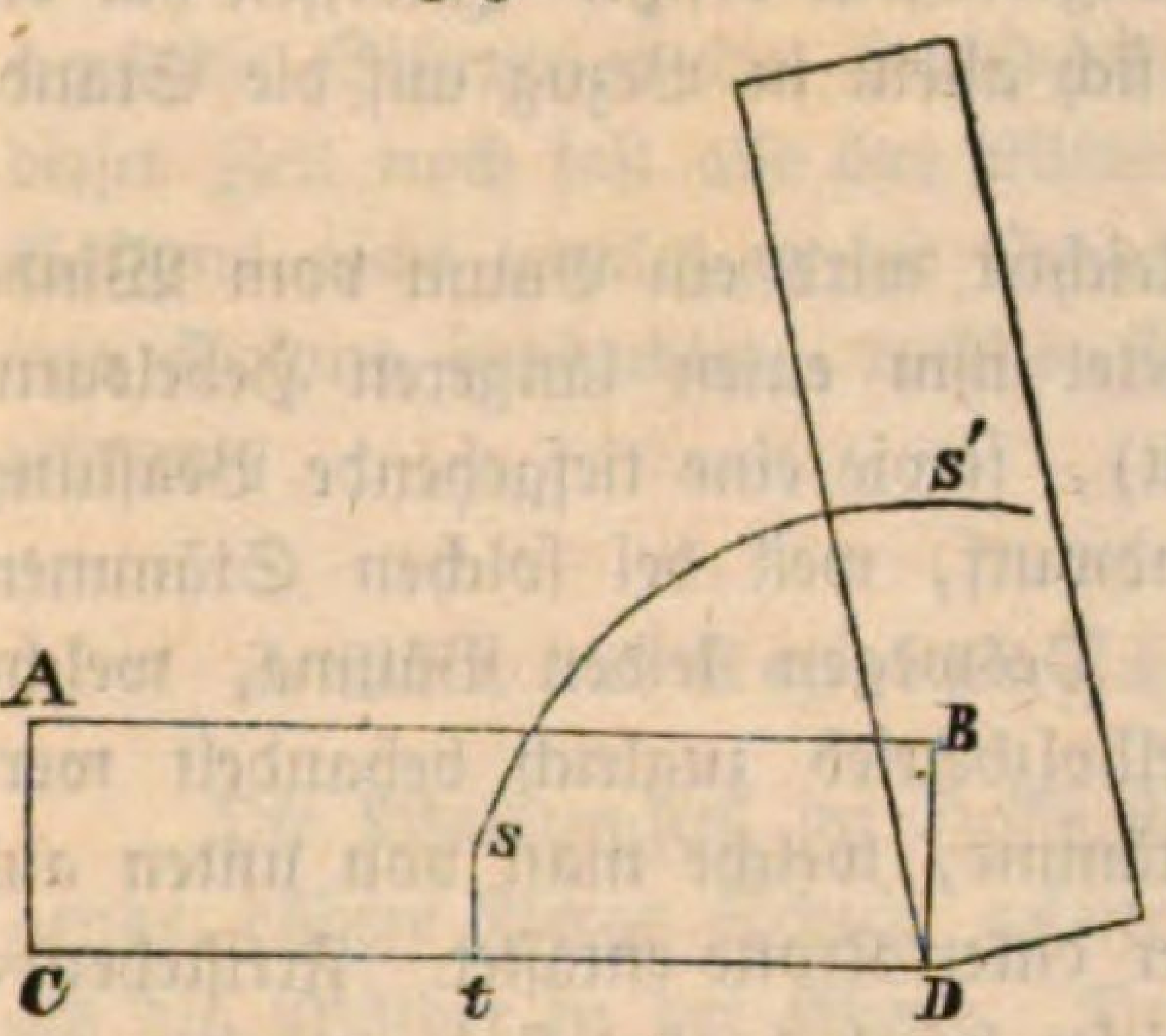
Ein Körper befindet sich in Ruhe, wenn sein Schwerpunkt unterstützt ist, doch hängt es von der Lage des letztern ab, ob er Standfähigkeit besitze, d. h. einer Kraft, welche ihn zu drehen oder umzuwerfen droht, Widerstand zu leisten vermöge.

Fig. 153.



Es sei s der Schwerpunkt irgend eines Körpers, z. B. eines Prismas ABDC (Fig. 153.); soll das Prisma auf die Seite BD gelegt werden, so muß dasselbe so gedreht werden, daß der Endepunkt t der von dem Schwerpunkt s aus gezogenen Verticalen s t außerhalb der Basis CD fällt. Es muß also s den Bogen s s' beschreiben, daher der Schwerpunkt s um s' D — s t gehoben werden.

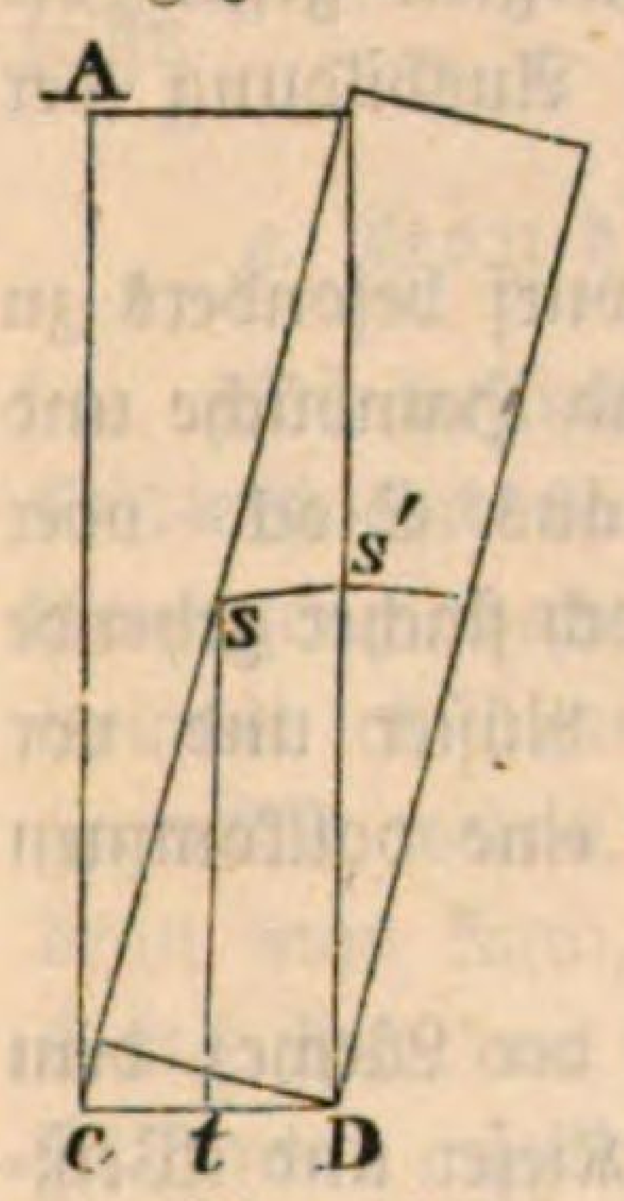
Fig. 154.



Denken wir uns nun statt des vorigen Prismas ein anderes von gleichem Gewichte, aber größerer Grundfläche CD (Fig. 154.), so wird der Radius D s, mit welchem der Bogen ss' zu beschreiben ist, größer ausfallen, also auch s' höher über s liegen, folglich der Schwerpunkt um einen größern Betrag gehoben werden müssen, damit die Verticale s' D — s t außerhalb der Basis CD falle.

Nehmen wir drittens an, die vorige Masse sei in ein Prisma von kleinerer Basis CD (Fig. 155.), aber größerer Höhe AC eingekleidet, so wird hier der Bogen ss' viel flacher ausfallen, daher auch s' D — s t kleiner sein, als in dem ersten Falle.

Fig. 155.

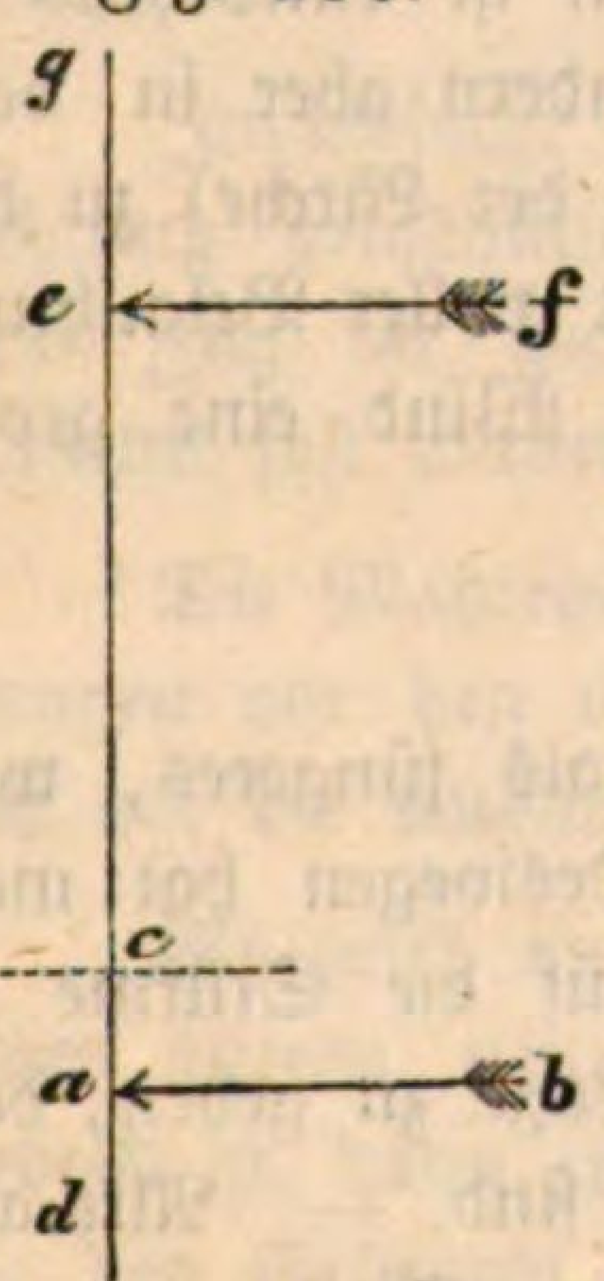


Aus dem Vorhergehenden folgt, daß ein Körper um so mehr Standfähigkeit besitzt, je größer sein Gewicht und seine Basis ist und je tiefer sein Schwerpunkt liegt.

Ist ein Körper in die Erde eingelassen, so kommt außer den eben erwähnten Umständen noch der Druck zur Sprache, welchen die Erde gegen den versenkten Theil ausübt.

Man kann ohne merklichen Fehler annehmen, daß die Resultirende a b dieses Druckes durch die Mitte a des unter der Erde befindlichen Stückes cd (Fig. 156.) geht. Wirkt nun auf den aus der Erde hervorragenden Theil cg eine Kraft ef in einerlei Sinne mit ab, so tritt dann Gleichgewicht ein, wenn ac. ab = ce. ef. Ist dagegen ce. ef > ac. ab, so wird der Körper um den Punkt c gedreht und aus der Erde gerissen.

Fig. 156.



Alle Bäume lassen sich als Hebel ansehen, deren einer Schenkel von dem Schafte gebildet wird, während die Wurzeln den andern Schenkel vorstellen. Die Wurzeln können in zweifacher Weise zur Befestigung des Baumes dienen, einmal, indem sie, wie die Tagwurzeln, eine Basis abgeben, um welche der Schwerpunkt des Baumes gedreht werden muß, wenn letzterer fallen soll (wie oben bei den Prisma's (CD), zum andern, indem sie, wie die senkrechten Pfahl- und Stechwurzeln oder die in schiefer Richtung in den Boden eindringenden Tagewurzeln durch den Druck der sie umgebenden Erde festgehalten werden. Ein Baum wird dann ganz besonders fest stehen, wenn er neben einer tief gehen-

den Pfahlwurzel noch weit ausstreichende Tagwurzeln besitzt. Indessen hat die Erfahrung nachgewiesen, daß letztere für sich allein in Bezug auf die Standfähigkeit nicht so viel leisten, als erstere.

Je länger der Schaft ist, um so leichter wird ein Baum vom Winde umgeworfen werden können, denn er bietet ihm einen längeren Hebelsarm dar. Ein kegelförmiger Wuchs (Stufigkeit), sowie eine tiefgehende Beastung und dünne Krone sichern gegen den Windwurf, weil bei solchen Stämmen der Schwerpunkt näher am Boden liegt. Deswegen leiden Bäume, welche regelmäßig nach dem Kopf- und Schneidelholzbetrieb zugleich behandelt werden, weit weniger von Stürmen, als Stämme, welche man von unten auf längs des Schaftes hin mit Belassung einer dicken Krone entastet. Freistehende Stämme, welche stufig aufwachsen und tiefer herab beastet sind, werden weniger vom Winde beschädigt, als im Schlusse erzogene Bäume. Fleißige Durchforstungen gehören zu den vorzüglichsten Schutzmaßregeln gegen die Stürme, weil durch sie ein stufiger Wuchs, die normale Ausbildung der Krone und eines kräftigen Wurzelsystems befördert wird.

Zu den flachwurzelnden Holzarten, welche den Windwurf besonders zu fürchten haben, gehören die Fichte, Buche, Birke, Aspe und Hainbuche und die vorgenannten Laubhölzer, namentlich dann, wenn sie aus Stock- oder Wurzelausschlag gebildet worden sind, weil die Ausschläge noch flacher gehende Wurzeln haben, als die Kernpflanzen. Die Ahorne, die Rüster und vor allen die Eiche widerstehen den Stürmen vortrefflich, weil sie eine vollkommen entwickelte Pfahlwurzel besitzen.

Ganz besonders sind die Nadelhölzer (mit Ausnahme der Lärche) dem Windwurf ausgesetzt, obgleich einigen von ihnen, wie der Kiefer und Weißtanne, die Pfahlwurzel nicht mangelt. Der Grund davon ist einestheils in der Schafthöhe, welche diese Holzarten erreichen, zum andern aber in dem Umstande zu finden, daß die Nadelhölzer (abgesehen von der Lärche) zu der Zeit der gefährlichsten Stürme, in den Aequinoctien, mit voller Belaubung versehen sind, welche, wie das Segel eines Schiffes, dem Wind eine große Angriffsfläche darbietet.

β. Von dem Holzalter.

Aelteres Holz wird leichter vom Winde geworfen, als jüngeres, weil ersteres dem Winde einen längern Hebelsarm darbietet. Deswegen hat man bei der Führung der Niederwaldschläge keine Rücksicht auf die Stürme zu nehmen und ist also nicht gehindert, denselben eine solche Lage zu geben, daß sie gegen die gefährlicheren austrocknenden Winde geschützt sind. — Alte anbrüchige Stämme brechen besonders leicht an der schadhaften Stelle.

γ. Von der Jahreszeit.

Wie im Vorbereitenden Theile angegeben wurde, wehen in unsern Gegenden die stärksten Stürme in der Aequinoctialzeit, also gegen das letzte

Drittel der Monate März und September. Den Laubhölzern werden besonders die Stürme in der Herbst- Tag- und Nachtgleiche gefährlich, weil sie zu dieser Zeit noch fast alle ihre Blätter besitzen. Uebrigens ist das Eintreten der Stürme nicht gerade an die Aequinoctien gebunden; man hat schon sehr heftige Orkane beobachtet, welche sich mitten im Winter oder im Sommer zeigten.

δ. Von der Erhebung über die Meeresfläche.

Die Waldungen im Hochgebirge sind, wenn ihnen nicht durch vorragende höhere Berge Schutz geboten wird, mehr dem Windwurf ausgesetzt, als die Wälder in der Ebene. Der Wind erlangt auf der letztern wegen der Reibung mit dem Boden ꝛc. nie die Geschwindigkeit, wie in den oberen Regionen des Luftkreises, weßhalb er höhere Gebirge mit viel stärkerer Gewalt trifft.

ε. Von der Exposition.

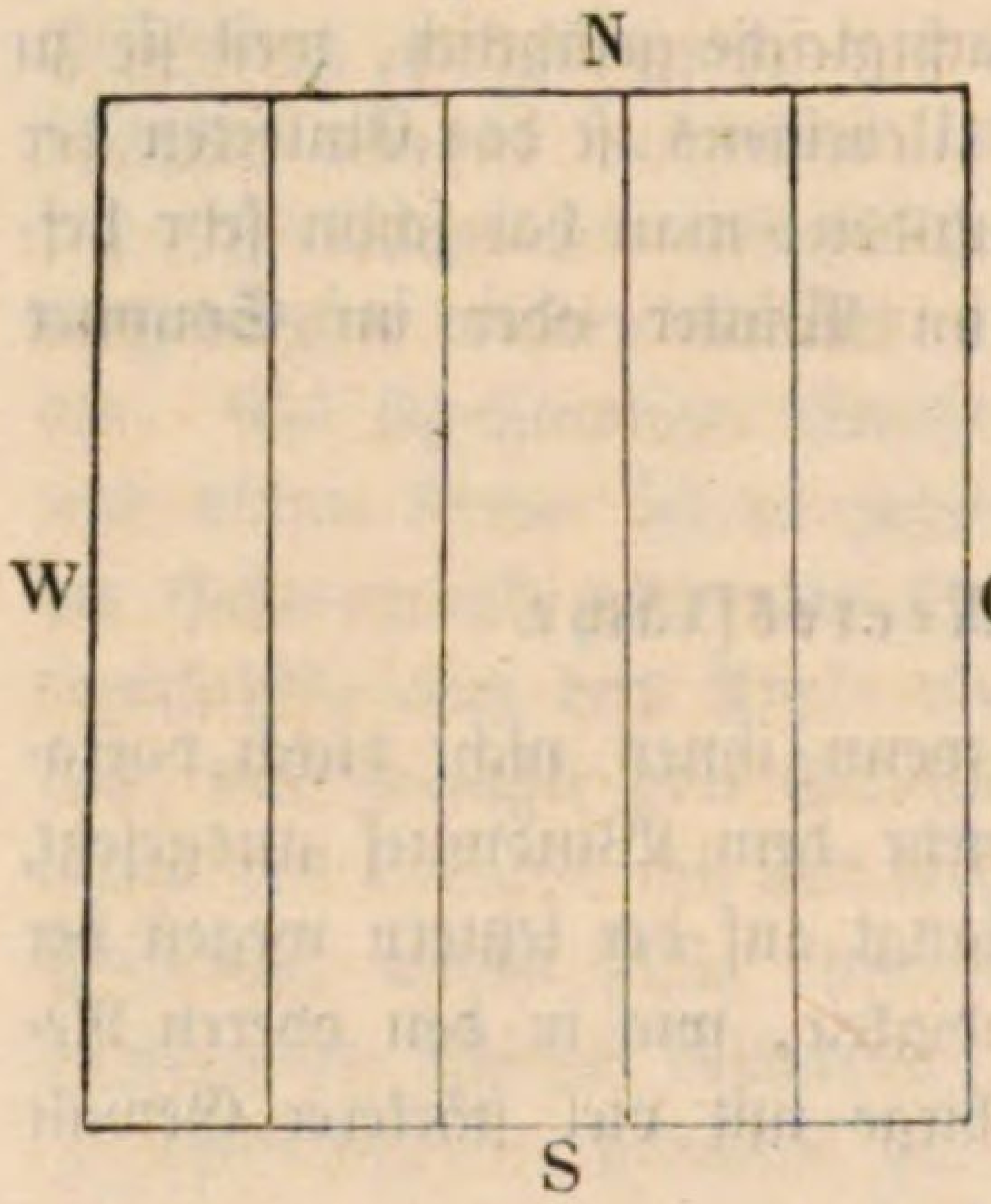
Die heftigsten Stürme kommen in Deutschland durchschnittlich aus West, Südwest und Nordwest. Expositionen, welche nach diesen Himmelsgegenden hinneigen, werden daher vorzugsweise den Stürmen ausgesetzt sein. Doch ereignet es bisweilen auch, daß sehr starke Stürme aus andern Himmelsgegenden wehen. Gegen diese lassen sich freilich keine Vorkehrungen treffen, denn man kann, wie wir sogleich sehen werden, einen Wald nicht nach allen Seiten hin vor den Stürmen schützen. Es genügt, wenn er vor derjenigen Sturmart möglichst gesichert ist, welche durchschnittlich am häufigsten Gefahr bringt.

Im Gebirge wird, wie wir im Vorbereitenden Theil bemerkten, die Sturmrichtung gewöhnlich durch den Lauf der Thäler bedingt. Der Wind folgt dem Zug der Vertiefungen des Terrains. In Küstengegenden gehen die Stürme fast immer von der See aus.

Die Maßregeln, welche der Forstwirth zu ergreifen hat, um die Waldungen vor den verderblichen Folgen der Stürme sicher zu stellen, beziehen sich auf die Auswahl, Führung und Stellung der Schläge.

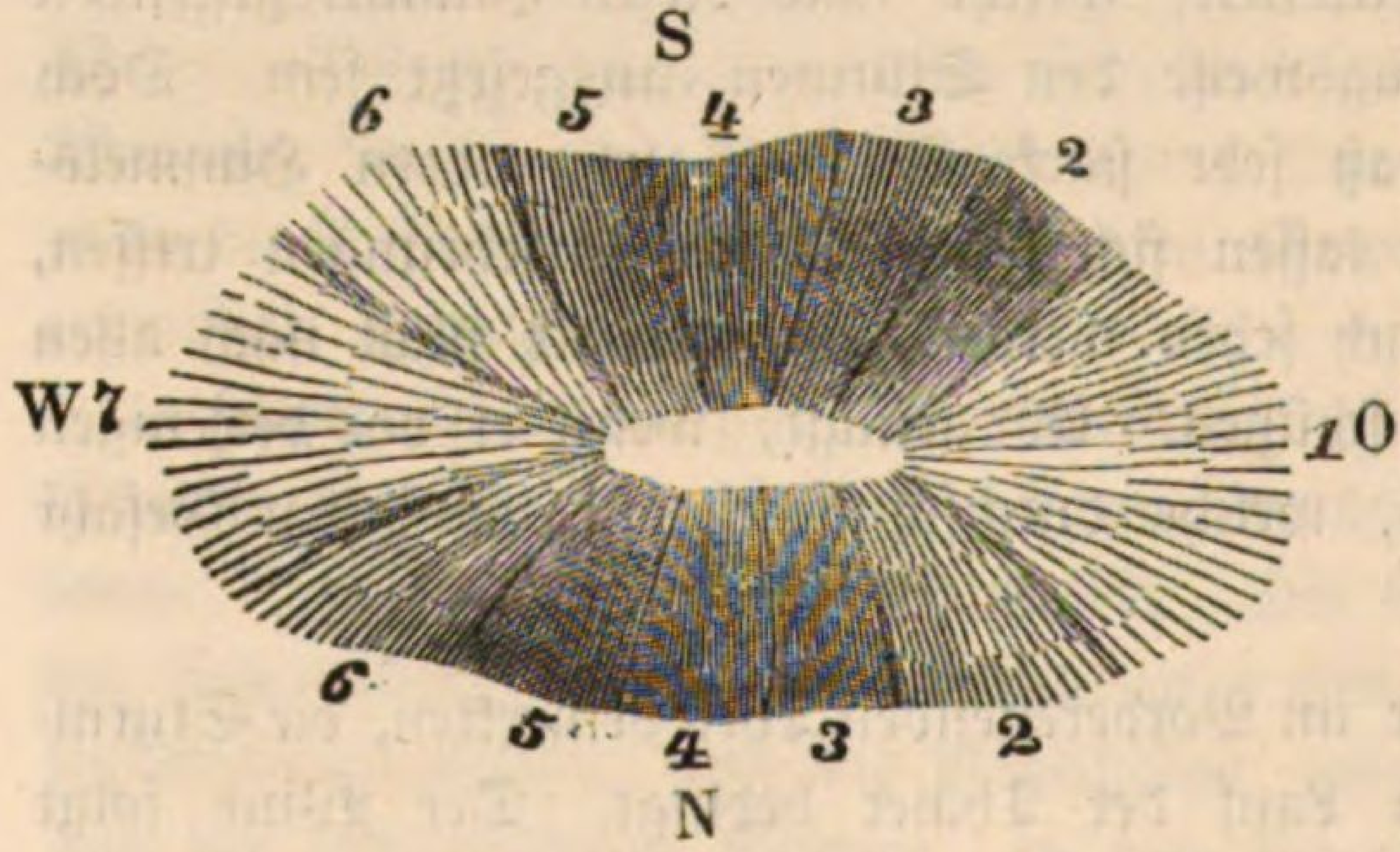
So wird man z. B. einen jüngeren haubaren Bestand, welcher durch einen älteren von einer tiefwurzelnden Holzart gegen die Windrichtung hin gedeckt ist, dann zuerst verjüngen, wenn jener aus einer Holzart besteht, welche den Stürmen leicht unterliegt. Indem wir dieses Verfahren anrathen, setzen wir voraus, daß durch das Ueberhalten des älteren Bestandes kein bedeutendes Zuwachsdeficit sich ergibt. Im andern Falle müßte der Bestand, welcher dem Windwurf exponirt ist, kahl abgetrieben und künstlich verjüngt werden.

Fig. 157.



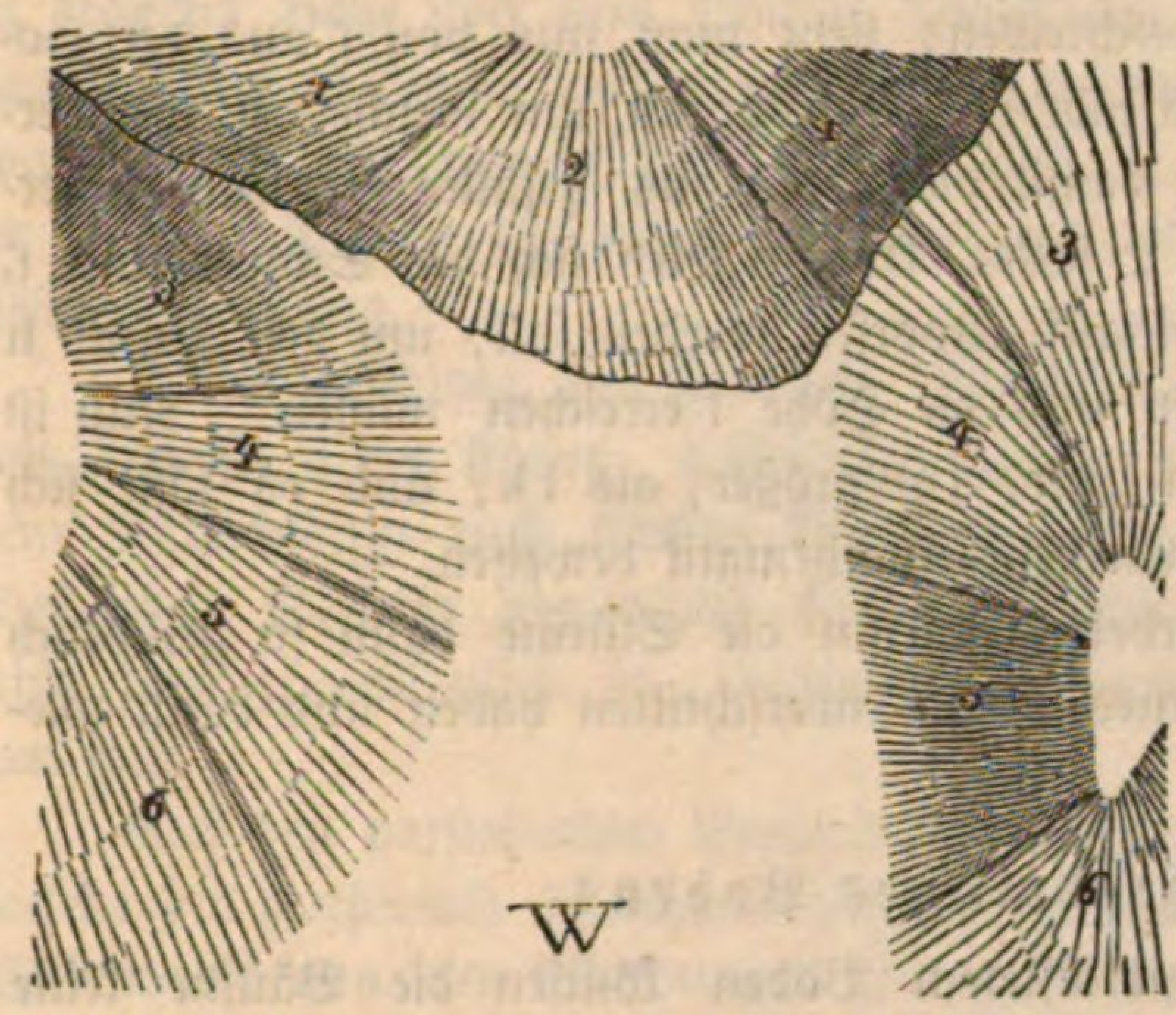
Gar oft besitzt ein Bestand eine solche Größe, daß er bei seinem Abtrieb den Etat für mehrere Jahre oder Perioden deckt. Hier sichert man den Bestandesrest, der nach Vornahme einer Jahres- oder Periodenfällung verbleibt, dadurch gegen den Windwurf, daß man den ersten Schlag an derjenigen Bestandsseite anlegt, welche der Sturmrichtung entgegengesetzt ist. So z. B. wird man den Bestand (Fig. 157.), wenn er von Weststürmen zu fürchten hat, in der Richtung von O nach W, also in Osten anhauen und die Längserstreckung der Schläge von Norden nach Süden richten, damit bei dem Vorschreiten der Schläge nach Westen hin an keiner Seite eine Lücke entstehe, welche den Westwind einlassen könnte.

Fig. 158.



Die so eben ertheilte Vorschrift gilt aber nur für die Ebene. Im Gebirge, wo man die Schläge wegen der Holzabfuhr in gerader Richtung von dem Fuße nach dem Gipfel hin führen muß, ist es nicht möglich, mit den Schlägen nach parallelen Linien vorzuschreiten. Hier legt man (Fig. 158.), wenn z. B. West der Sturmwind ist, den Schlag 1 genau auf die Ostseite, hierauf werden 2 und 2 zu beiden Seiten von 1 angehauen, und so fährt man mit der Schlaganlage gleichzeitig über Süden und Norden fort, bis der letzte Schlag 7 die westliche Exposition erreicht. Stets muß aber die Kuppe zuerst verjüngt werden, damit das unter derselben stehenbleibende Holz den jungen Nachwuchs gegen den verderblichen Einfluß der Atmosphärilien (Hitze, Frost, austrocknende und und kalte Winde) schütze.

Fig. 159.



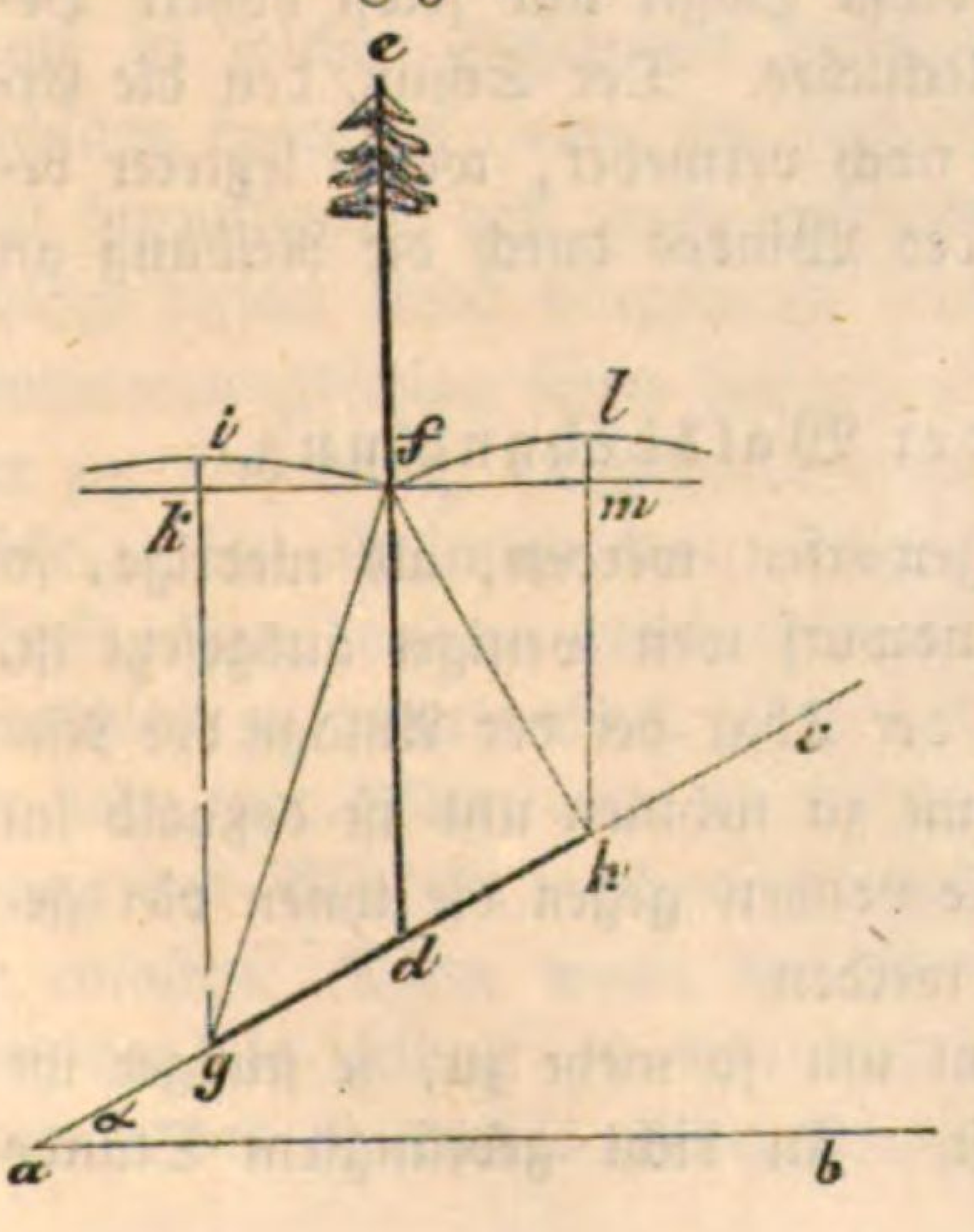
Hat ein Thal seine Ausmündung nach der Sturmgegend hin, so beginnt man mit der Schlaganlage oben im Gebirge nnd setzt den Hieb nach der Mündung hin fort (Fig. (159.).

Dieses sind die Vorschriften für die Behandlung der einfacheren Fälle. Im Gebirge, wo isolirte Lagen mit Thälern und Plateaus wechseln, setzt sich das Verfahren, um die Bestände gegen die Stürme zu schützen, aus den eben angegebenen Maßregeln zusammen, und es ist die Aufgabe des Forstwirths, mit gehöriger Umsicht zu entscheiden, welche Bestände vorzugsweise zu berücksichtigen sind.

ϱ. Von dem Abdachungsgrade.

Bäume, welche auf einer geneigten Bodenfläche stehen, werden vom Winde leichter geworfen, wenn dieser vom Gipfel nach dem Fuße der Anhöhe hin, als wenn er in umgekehrter Richtung weht. Es beruht dies auf mehrern Gründen. Einmal stehen die Bäume auf geneigtem Boden gewöhnlich nicht senkrecht zur Horizontalen, sondern sie hängen etwas nach dem Fuße des Berges hin über, ihre natürliche Stellung nähert sich schon der Fallrichtung; zum Andern wird die Kraft des Windes, welcher von unten und fast

Fig. 160.



immer in einem Winkel gegen die Wand hin einfällt, durch die Reibung an dem Boden geschwächt, während der vom Gipfel kommende Wind meist parallel mit der Bodenfläche weht; drittens ist aber die Höhe, um welche der Schwerpunkt des Baumes gehoben werden muß, damit dieser zum Fall gelange, kleiner, wenn der Baum nach unten hin, als wenn er nach oben hin geworfen werden soll. Es sei a b (Fig. 160.) die Horizontale, α der Winkel, mit welchem die Bergwand a c gegen die Horizontale geneigt ist, d e ein Stamm, f sein Schwerpunkt, d g = d h seien zwei Tagwurzeln. Soll der Baum nach unten hin fallen, so

muß sein Schwerpunkt f um den Unterstützungspunkt g mit dem Halbmesser gf = gi den Kreisbogen fi beschreiben; zieht man nun von f aus der Horizontalen eine Parallele fk, so gibt ik die Höhe an, um welche der Schwerpunkt f gehoben werden muß, damit die von f aus gefällte Verticale außerhalb des Unterstützungspunktes g falle. Ebenso wird sich der Schwerpunkt f, wenn der Baum die Anhöhe hinauf geworfen werden soll, um den Punkt h mit dem Halbmesser fh drehen und die Höhe l erreichen müssen. Nun ist aber, wie schon der Augenschein lehrt, lm größer, als ik, und es läßt sich dies auch mit den Sätzen der Elementarmathematik beweisen. —

Aus dem Vorstehenden erhellt, warum die Stürme dann so gefährlich werden, wenn sie den Gipfel eines Berges überschritten haben und dann wieder thalabwärts wehen.

η. Von der Beschaffenheit des Bodens.

Auf flachgründigem, unzerklüftetem Boden können die Bäume keine Pfahlwurzel ausbilden; hier werden sie also leichter vom Winde geworfen werden, desgleichen auf lockerem Sand oder Moorgrund, weil diese zu wenig Zusammenhang besitzen, um einer Verschiebung der Wurzeln Widerstand zu leisten, wenn der Wind den Stamm nach der Seite hin drückt. Aehnlich verhält sich ein schon mehr gebundener Boden nach längeren Regengüssen, welche die Erde aufweichen; deßhalb sind die Frühlingsäquinoctialstürme so gefährlich, weil in dieser Jahreszeit der Boden gewöhnlich sehr viele Feuchtigkeit enthält. Ist der Boden gefroren und damit der Zusammenhang der Erdtheilchen stärker geworden, so widerstehen die Bäume dem Windwurfe viel eher.

ϑ. Von der Umgebung.

Hohe Berge oder Bergrücken in der Richtung der Sturmgegend schützen die hinter ihnen liegenden Bestände, auch bloße Hügel und selbst höhere Bestände leisten in gleicher Beziehung oft Erkleckliches. Der Schutz, den die Erhebung des Bodens gewährt, wird dann noch vermehrt, wenn letzterer bewaldet ist, weil in diesem Falle die Kraft des Windes durch die Reibung an den Bäumen geschwächt wird.

ι. Von der Betriebsart und der Waldbehandlung.

Da hohe Bäume eher vom Winde geworfen werden, als niedrige, so ist klar, daß der Niederwaldbetrieb dem Windwurf weit weniger ausgesetzt ist, als der Hochwaldbetrieb. Man braucht in der That bei der Anlage der Niederwaldschläge gar keine Rücksicht auf Stürme zu nehmen und ist deßhalb im Stande, die Schläge so zu führen, daß die Lohden gegen die ihnen viel gefährlicheren austrocknenden Winde geschützt werden.

Die Standfähigkeit der Bäume nimmt um so mehr zu, je stufiger ihr Wuchs und je stärker ihre Bewurzelung ist. In dicht gedrängtem Stande

wird der Baumschaft mehr walzenförmig und die Astverbreitung beginnt erst in größerer Höhe über dem Boden; beides hat zur Folge, daß der Schwerpunkt solcher Stämme weiter oben liegt, weßhalb sie leichter vom Winde geworfen und, so lange sie noch schwank sind, eher umgebogen werden, als die im freierem Stande erwachsenen Bäume mit weniger vollholzigem Schaft und tieferer Beastung.

Die Ausbildung der Wurzeln correspondirt wie die Beobachtung lehrt, mit derjenigen der Krone. Deßwegen besitzen die Randstämme neben größerem Astreichthum auch stärkere Wurzeln, als die Stämme im Innern der Bestände. Dasselbe Verhältniß findet zwischen dicht aufgeschossenen Saaten und den, gewöhnlich in weiterem Verbande angelegten, Pflanzbeständen statt.

Aus den vorstehenden Bemerkungen lassen sich die Maßregeln ableiten, welche der Forstwirth in Anwendung zu bringen hat, um die Gefahren des Windwurfs von den Waldungen fern zu halten. Sie bestehen also zuvörderst darin, daß man nicht zu dicht säet, überhaupt aber, wo es die sonstigen Umstände, namentlich die Kosten, gestatten, der Pflanzung vor der Saat den Vorzug gebe, daß man dichte Bestände schon frühe durchforste und die Herausnahme der abgestorbenen und unterdrückten Stämme nicht in größeren Zeitintervallen, sondern so oft, als thunlich, wiederhole. Werden, wie dies noch gar zu häufig geschieht, die Durchforstungen zu lange hinausgeschoben, so häufen sich zu große Massen von Durchforstungsholz an, durch deren plötzliches Entfernen der Bestandsschluß unterbrochen wird, weßhalb denn solche Bestände kurze Zeit nach der Durchforstung dem Windwurf am ersten unterliegen.

Die größte Gefahr durch Stürme droht den Waldungen während der Periode der natürlichen Verjüngung, weil zu diesem Zwecke die Bestände gelichtet werden müssen. Wir haben oben angegeben, wie man dem Windwurf in solchen Beständen durch sachgemäße Auswahl und Führung der Schläge begegnen, oder ihn doch wenigstens vermindern könne, und müssen jetzt hinzufügen, daß auch durch eine sorgfältige Stellung der Verjüngungsschläge diesem Uebel vorgebeugt werden kann. Dahin gehört, daß man den Vorbereitungsschlag schon frühzeitig beginnen läßt und durch öfteren Aushieb der zur Besamung ungeschickten oder von dem Winde besonders leicht zu beschädigenden Stämme den stehenbleibenden eine stärkere Bewurzelung verschafft, ohne dagegen durch stellenweise zu weit gehende Auslichtung den Kronenschluß zu unterbrechen, ferner daß man an der Sturmseite die Bestände dunkler halte, vor Allem aber die Randbäume belasse, damit diese den ersten Andrang des Windes brechen können. Auch hüte man sich, die Randstämme zu entasten. Denn wenn der Wind einmal im Rande eine Oeffnung gefunden hat, so gelingt es ihm viel eher, die schlechtbewurzelten Stämme im Innern des Bestandes niederzuwerfen.

Es erübrigt noch, am Schlusse dieses Abschnittes etwas über die Wirbelwinde zu sagen.

Die heftigsten Orkane in der heißen Zone sind stets Wirbelwinde, und zwar werden diese durch zwei Luftströmungen verursacht, welche sich parallel, aber in entgegengesetzter Richtung neben einander fortbewegen. Dabei rückt der Mittelpunkt der Drehung stetig vorwärts, indem er auf seinem Wege eine Bogenlinie beschreibt.

Auch in Deutschland lassen sich dergleichen Wirbelwinde nicht selten beobachten, sie dehnen sich aber hier nicht über eine so große Fläche aus, wie in der heißen Zone. Im Jahre 1821 durchzog ein Wirbelwind in der fast constanten Breite von 25 Metern ½ Stunde von Gießen den District Neumark und drehte alle Bäume (80—100jährige Kiefern) vollständig und zwar durchaus in der Richtung von der Linken zur Rechten ab. Die Verheerung erstreckte sich auf eine Viertelstunde Weges, dann war jede Spur von ihr verschwunden.

Schwerlich dürfte es ein Mittel geben, um die Waldungen vor diesen gefährlichen Wirbelstürmen sicher zu stellen.

Fünfzehntes Buch.

Einfluß der Wärme auf die Waldvegetation.

1. Einleitung.

Von den Einflüssen, welche die Meteore auf die Vegetation äußern, fällt keiner mehr in die Augen, als derjenige der Wärme. Wir sehen, daß im Winter die Vegetation stockt, daß sie im Frühjahr, wenn eine höhere Temperatur eintritt, wieder erwacht und im Herbst, wenn die Wärme abnimmt, von Neuem in Stillstand geräth.

Treten im Frühjahr, nachdem die Vegetation bereits erwacht ist, kalte Tage ein, so bleibt das Wachsthum der Pflanzen augenblicklich zurück; es setzt sich aber fort, sobald die Temperatur wieder in's Steigen kommt.

Am auffallendsten gibt sich der Einfluß der Wärme an der Vertheilung der Gewächse in horizontaler und vertikaler Richtung kund. Die heiße Zone enthält nicht allein die meisten Individuen, sondern besitzt auch den größten Artenreichthum; die höher entwickelten Phanerogamen herrschen in ihr gegen die Cryptogamen vor, während in der kalten Zone das umgekehrte Verhältniß besteht. So gehören z. B. von den 200 Pflanzenspecies, die auf Spitzbergen vorkommen, $^2/_3$ den Cryptogamen an.

Steigt man von den Küsten des Großen Oceans in der Nähe des Aequators auf die Anden von Südamerika, so stellt sich ein ähnliches Bild dar. Unten am Meere Palmen, weiter nach oben hin Waldungen von Bäumen, welche sich auch in der gemäßigten Zone finden, dann nur noch Grasländereien, zuletzt Flechten und Moose bis zur Grenze des ewigen Schnee's hin. Die Abnahme der Temperatur in horizontaler Richtung bringt in Bezug auf die Vegetation fast den nämlichen Effect hervor.

2. Einfluß der Wärme auf die periodischen Erscheinungen der Vegetation.

a. Allgemeines über die Wirkungsweise der Wärme.

Wie Jedermann bekannt ist, hängen die periodischen Erscheinungen der Vegetation, zu denen wir den Ausbruch der Blätter, die Blüthe, die Frucht-

reife und den Blätterabfall, in gewissem Sinne auch die Keimung rechnen, von der Temperatur ab. Wie letztere hierbei wirke, darüber sind wir durchaus noch nicht im Klaren; da übrigens die periodischen Erscheinungen alle von chemischen Prozessen begleitet sind und da wir wissen, daß jede chemische Action — sei es nun eine Verbindung, oder eine Zersetzung — von einem bestimmten Wärmegrad bedingt wird, so ist wenigstens einiges Licht auf die Wirkungen geworfen, welche die Temperatur bei den genannten periodischen Erscheinungen der Vegetation hervorbringt.

Es wurde bereits an einem andern Orte ausgeführt, daß bei den Bäumen die Entfaltung der Knospen mit dem Steigen des Saftes eintritt. Der letztere Vorgang ist aber fast ausschließlich chemischer Natur. Im Herbste sind die Markstrahlenzellen des Holzes vollgepfropft von Stärkemehlkörnchen; im Frühjahr, wenn der Saft sich erhebt, verschwindet das Amylon, an seine Stelle tritt Dextrin, Zucker, oder Terpenthinöl. Wir wissen bis jetzt noch nicht mit Sicherheit die Ursache anzugeben, durch welche das Amylon in die letztgenannten Stoffe verwandelt wird, wenn es schon wahrscheinlich ist, daß die stickstoffhaltige Substanz der Zellen diesen Uebergang vermittelt. Sollte letzteres der Fall sein, dann kann kein Zweifel über die Rolle herrschen, welche die Wärme beim Steigen des Saftes spielt. Es ist uns ja bekannt, daß die Ueberführung des Amylons in Traubenzucker in den keimenden Samen, welche durch eine Zersetzung der stickstoffhaltigen organischen Substanz bewirkt wird, nur bei einer gewissen Temperatur erfolgt. Auch alle übrigen Methoden, um Stärkemehl in Zucker zu verwandeln, wie z. B. die Anwendung von Schwefelsäure, erfordern einen bestimmten Wärmegrad, unter welchem der Prozeß nicht von statten geht.

Auch die Blüthe ist von dem Auftreten gewisser chemischer Verbindungen (z. B. flüchtigen Oelen) begleitet, welche ihr eigenthümlich sind. Noch ausgeprägter sind die Veränderungen, welche die unreifen Früchte bis zur Beendigung der Reifezeit erleiden. Die Säure der Aepfel, Weintrauben, Vogelbeeren 2c. nimmt mit der Entwicklung dieser Früchte immer mehr ab, bis sich zuletzt an ihrer Stelle Zucker, Dextrin, oder Schleim findet.

Haben wir uns nun davon überzeugt, daß die Wärme eine Bedingung für die Lebenserscheinungen der Gewächse bildet, so kann es uns nicht auffallen, warum in unsern Gegenden viele Bäume nur sommergrün sind, welche schon in der Türkei und in Griechenland das ganze Jahr hindurch im Laube stehen. In den wärmeren Klimaten fallen die Blätter zwar ebenfalls ab, nachdem sie ihre Functionen erfüllt haben, allein mittlerweile bilden sich schon wieder neue, so daß der Baum des Blätterschmucks nie ganz entbehrt.

Auch das Blatt erlangt, wie die Frucht, seine Reife, die von einer gewissen Temperatur abhängig ist. Hat diese gefehlt, war also z. B. der Sommer kalt, so fallen die Blätter oft gar nicht ab, sondern bleiben, selbst wenn sie durch die Kälte des Winters zu Grunde gehen, noch lange an den Zweigen

hängen, ähnlich wie die Blätter von unterdrückten Stämmen, welche wegen Mangel an Licht und Wärme zugleich ihren Lebenscyclus nicht zu rechter Zeit vollenden können, oft noch bis zum Frühjahr den Baum bekleiden.

b. **Untersuchung, ob die Effecte der Wärme den Temperaturgraden einfach proportional seien.**

Wir wenden uns jetzt zu der Beantwortung der Frage: wie hängen die periodischen Erscheinungen des vegetativen Lebens von der Höhe der Temperatur ab? Sind die Effecte, welche die Wärme hervorbringt, den Wärmegraden einfach proportional, oder findet ein anderes Verhältniß statt?

Die erstgenannte Unterstellung wurde schon 1765 von Réaumur und später von Cotte und Adanson gemacht. Boussingault unternahm es, ihre Richtigkeit auf dem Wege der Beobachtung nachzuweisen. Er drückt sich darüber folgendermassen aus: Wenn irgend eine Phase des Pflanzenlebens genau von der Temperatur abhängig ist, so muß stets die nämliche Wärmesumme an dem Orte der Cultur erreicht werden, bis diese Phase eintritt, einerlei, welches die Lage dieses Ortes sei. Hierbei ist aber natürlich angenommen, daß die Gewächse je nach Gattung und Art verschiedene Wärmesummen zählen. Boussingault addirte also die mittlere Wärme der Tage, welche bis zur Vollendung der betreffenden Phase verfließen. Nachstehend theilen wir die Wärmesummen mit, welche sich nach seinen Beobachtungen von der Aussaat des Waizens, der Gerste, dem Legen der Kartoffel bis zur Erndte dieser Früchte ergeben.

Waizen.

Orte	a. Dauer der Cultur. Tage	b. Mittl. Temperatur.	c. Product aus a. b
Bechelbronn im Elsaß			
Sommerwaizen	131	15,8	2070
Winterwaizen	137	15,0	2055
Paris			
Winterwaizen	160	13,4	2144
Kingston (New York)			
Winterwaizen	122	17,2	2098
Sommerwaizen	106	20,0	2120
Cincinnati (Ohio)			
Sommerwaizen	137	15,7	2151
Quinchugui (am Aequator)			
Sommerwaizen	181	14,0	2534
Tormero } Venezuela	92	24,0	2208
Truxillo } Sommerwaizen	100	22,3	2230
Mühlhausen in Thüringen			
Winterwaizen	176	11,14	1960

Gerste.

	a	b	a. b
Bechelbronn			
Wintergerste	122	14,0	1748
Sommergerste	92	19,0	1708
Alais "	137	13,1	1795
Aegypten "	90	21,0	1890
Kingston "	92	19,0	1738
Cumbal "	168	10,7	1798
Santa-Fé "	122	14,7	1793

Kartoffel.

	a	b	a. b
Elsaß 1836	157	18,2	3039
" Durchschnitt	183	18,2	2944
Alais	183	21,1	3228
Mühlhausen (Thür.)	133	15,56	2078
Am See von Valenzia	120	25,5	3060
Merida (Cordilleren)	137	22,0	3060
Santa-Fé	200	14,7	2930
Pinantura (am Antisana)	276	11,0	3036
Cambugan (am Cotocache, Aequator)	circa 11 Monate	?	3192
Pusuqui das.	circa 200 T.	15,5	3180

Wenn man nun auch dem Umstande Rechnung trägt, daß die Erndte der Feldgewächse nicht blos von der Reifezeit der letzteren, sondern von noch gar vielen andern Umständen, z. B. dem Wetter abhängt, so wird man doch die Differenzen, welche die Boussingault'schen Zahlen für eines und dasselbe Gewächs zeigen, zu groß finden, um nicht schließen zu müssen, daß die Effecte der Wärme den Temperaturgraden nicht einfach proportional seien. Dies lehrt auch schon folgende simple Betrachtung. Man habe an zwei Tagen hinter einander die Temperatur von 8° beobachtet, an einem dritten Tage die von 16°. Nach einfachen Summen wären die Wirkungen gleich, denn $8^0 + 8^0 = 16^0$. Allein es ist gewiß, daß eine Temperatur von 16° an einem Tage mehr ausrichtet, namentlich was das Reifen gewisser Früchte, z. B. des Weinstocks anlangt, als die Temperatur von 8 und nochmals 8 Graden an zwei aufeinanderfolgenden Tagen.

c. Vorausbestimmung der periodischen Erscheinungen der Vegetation nach der Summe der Quadrate der Temperaturen.

Um den eben berührten Anstand zu beseitigen, nahm Quetelet hypothetisch an, daß die Wirkungen der Wärme nicht nach den Summen der einfachen Temperaturgrade, sondern nach den Summen der quadrirten Temperaturen

zu berechnen seien. Nach dieser Unterstellung würde also der Wirkungswerth von zweimal 8° nicht 16, sondern $8^2+8^2=64+64=128$, der Wirkungswerth von 16° aber $16^2=256$ sein, es würde daher eine einmalige Temperatur von 16° der Vegetation doppelt so viel nützen, als zwei auf einanderfolgende Temperaturen von je 8 Graden. Augenscheinlich kommt die Quetelet'sche Rechnungsmethode der Wahrheit näher, als diejenige von Boussingault, ohne daß man dem Verfahren von Quetelet eine absolute Richtigkeit beimessen könnte, denn es beruht eben nur auf einer Hypothese. Die Wahl des Exponenten 2 ist eine ganz willkührliche, die Wirkungen der Wärme könnten eben so gut einer andern Potenz proportional sein. Die Beobachtungen, welche Quetelet anstellte, um seine Zählmethode zu rechtfertigen, sprechen zwar zu Gunsten der letztern, indessen ist der Ausschlag so klein, daß er zur Erbringung des Beweises kaum für geeignet befunden werden dürfte.

Quetelet berechnete, daß die Summe der einfachen Temperaturen, welche sich vom ersten frostfreien Tage bis zum Eintritt der Blüthe der Syringe ergeben, 476, die Summe der Quadrate der Temperaturen 4296 beträgt. Zählt man nun, sagt Quetelet, in irgend einem andern Jahre von dem nämlichen Termine an die Temperaturen nach diesen beiden Methoden, so wird diejenige die Wirkungsweise der Wärme am richtigsten ausdrücken, welche mit der Beobachtung am genauesten übereinstimmt.

Nach Quetelet sollte die Syringe blühen

im Jahr	nach der Summe der einfachen Temperaturen	nach der Summe der quadrirten Temperaturen	sie blühte aber wirklich
1839	10,5 Mai	9,3 Mai	10 Mai
1840	4,0 „	2,2 „	28 April
1841	23,3 April	23,0 April	24 „
1842	22,5 „	27,3 „	28 „
1843	19,5 „	19,7 „	20 „
1844	22,0 „	23,5 „	25 „
Im Mittel	27,0 April	27,5 April	27,5 April

Wie man sieht, stimmt die Rechnung nach quadrirten Temperaturen genauer mit der Beobachtung überein, als diejenige nach einfachen Temperaturen, doch will der Unterschied von einem halben Tage gar nichts bedeuten, denn Jeder, welcher schon einmal versucht hat, die Blüthezeit irgend einer Pflanze festzustellen, wird zugeben, daß dies, und namentlich bei der Syringe, nicht genau auf einen halben Tag bewerkstelligt werden kann. Die folgenden Beispiele, in welchen a die Summe der Quadrate, b der einfachen Temperaturen bedeuten, geben schon einen etwas größern Ausschlag zu Gunsten der Quetelet'schen Hypothese, sind aber gleichfalls nicht vollkommen entscheidend.

Fruchtreife		1841	1842	1843	1844	Mittel
Fragaria vesca	beobachtet	24 Mai	1 Juni	15 Juni	5 Juni	3 Juni
	a 12000	24 „	4 „	7 „	9 „	3 „
	b 1022	28 „	1 „	4 „	7 „	2 „
Ribes rubrum und Ribes nigrum	beobachtet	9 Juni	12 „	15 „	9 „	11 „
	a 14400	29 Mai	11 „	17 „	18 „	11 „
	b 1170	5 Juni	10 „	14 „	15 „	11 „
Ribes grossularia	beobachtet	22 „	20 „	25 „	22 „	22 „
	a 17500	12 „	20 „	1 Juli	27 „	22 „
	b 1370	20 „	20 „	27 Juni	7 „	23 „
Amygdalus persica	beobachtet	15 Aug.	11 Aug.	21 Aug.	24 Aug.	18 Aug.
	a 33000	15 „	9 „	20 „	29 „	18 „
	b 2267	17 „	10 „	19 „	23 „	17 „

Aus dem Vorhergehenden erhellt, daß das Gesetz, nach welchem die Wirksamkeit der Temperaturen sich bemißt, noch nicht ermittelt ist. Um es zu finden, müssen noch viele andere Hypothesen aufgestellt und durch eine zahlreiche Reihe von Beobachtungen geprüft werden.

d. Ausgangspunkt für das Zählen der Temperaturen.

Wenn man bei dem Summiren der Temperaturen nach dem Verfahren von Cotte oder Quetelet diejenigen Temperaturgrade, welche über dem Gefrierpunct liegen, als positiv, diejenigen unter 0 aber als negativ zählt, so unterstellt man, daß alle positiven Temperaturen den Eintritt der betreffenden Vegetationsphase begünstigen und daß alle negativen Temperaturen ein schon gewonnenes Resultat des Fortschrittes wieder rückgängig machen. Diese Annahme steht aber mit den Thatsachen im Widerspruch. Die Vegetation erwacht nicht gerade bei einer Temperatur von 0°, für die Mehrzahl der Gewächse ist eine mittlere Tagestemperatur von 6—8 Graden über 0 erforderlich, damit sie in's Treiben kommen. Um den Eintritt einer Vegetationsphase richtig vorauszubestimmen, müßte man daher nur diejenigen Temperaturen in Rechnung bringen, welche für die Pflanze von Vortheil sind, vorerst aber Beobachtungen über das noch zuträgliche Temperaturminimum anstellen. Ebenso wäre mit den Temperaturen unter 0° zu verfahren. Diejenigen Gewächse, welche Temperaturen unter 0°, ohne zu erfrieren, ertragen, werden durch solche Wärmegrade durchaus nicht in ihrer Entwicklung zurückgesetzt, sondern nur aufgehalten; die chemischen Veränderungen des Zelleninhaltes gerathen in's Stocken, setzen sich aber mit dem Eintritt höherer Temperaturen augenblicklich wieder fort. Um also ein richtiges Resultat zu erlangen, müßte man alle Temperaturen, welche unterhalb des zur Entwicklung einer Pflanze geeigneten Wärmegrades liegen, gänzlich aus der Rechnung lassen.

Indem Quetelet zur Vorausbestimmung des Blattausbruchs (und unter Umständen auch der Blüthe) die Temperaturen vom ersten frostfreien Tage an

zählt, vermeidet er blos die negativen Temperaturgrade, aber nicht die positiven, welche unterhalb des für die Vegetation noch zuträglichen Temperaturminimums begriffen sind. Aus diesem Versehen sind die Differenzen zwischen seinen Rechnungen und Beobachtungen wohl zum Theile entsprungen.

Hundeshagen zählt zur Vorausbestimmung des Blattausbruchs die Temperatur vom Blätterabfalle im Herbste an durch den ganzen Winter hindurch. Obwohl nicht zu läugnen ist, daß auch im Winter der Zelleninhalt bei gewissen Temperaturen Veränderungen erleidet, die sonst nur im Frühjahr stattfinden (in Amerika gewinnt man den Ahornsaft an warmen Tagen im Januar und Februar, es ist also die Umwandlung des Amylons in Zucker schon im Winter vor sich gegangen), so sind doch die Temperaturen des Winters zu klein, als daß ihre Beachtung die Rechnung viel genauer machen könnte. In der That bemerken wir, daß hauptsächlich die höheren Temperaturen von oft nur wenigen Frühlingstagen in Bezug auf den Blattausbruch den Ausschlag geben. Wie wenig die Temperaturen des Winters wirken, sehen wir daran, daß nach einem warmen Winter, aber kaltem Frühjahr die Bäume nicht sogleich bei nachherigem Eintritt von milder Witterung ihre Blätter entfalten, und daß nach sehr kalten Wintern die Vegetation oft schon in wenigen Tagen große Fortschritte macht, wenn jene von einer verhältnißmäßig höheren Temperatur begleitet sind.

e. Wichtigkeit der Wärme für das Reifen der Früchte.

Aus den Beobachtungen von Boussingault ergibt sich, daß von der Blüthe eines Gewächses bis zur Fruchtreife eine gewisse Wärmesumme verfließen muß. Doch genügt diese nicht allein, um die Früchte zu ihrer Vollendung zu bringen; hierzu sind außerdem noch bestimmte höhere Temperaturgrade erforderlich. London und Frankfurt am Main haben dieselbe mittlere Jahrestemperatur von 9°,8; zu London kann der Weinstock vom Frühjahr bis zum Herbst die nämliche Wärmesumme empfangen, wie zu Frankfurt, und dennoch sind die Trauben in England zur Weinbereitung untauglich. Es rührt dies blos von dem Unterschied der Temperatur des wärmsten Monats (Juli) her, welche für Frankfurt 18°,9, für London nur 17°,8 beträgt.

Bei unsern Bäumen werden die Blütheknospen ein Jahr früher gebildet, ehe der Fruchtansatz erfolgt; über die Ausgiebigkeit eines Samenjahrs entscheidet daher die Temperatur von zwei Sommern. Es müssen hier zwei Ereignisse zusammentreten, um ein drittes möglich zu machen, und da zusammengesetzte Wahrscheinlichkeiten viel kleiner ausfallen, als einfache, so erklärt es sich leicht, warum sogenannte Vollmasten so selten sind. Nehmen wir beispielsweise an, in irgend einer Gegend trete alle a Jahre ein so warmer Sommer ein, wie er zur Fruchtbildung erforderlich ist, so wird die Wahrscheinlichkeit, daß ein gewisses Jahr einen solchen Sommer erhält, $= \frac{1}{a}$ sein. Die

Wahrscheinlichkeit, daß es in irgend einem Jahr viele und gute Früchte geben werde, was also von zwei aufeinander folgenden warmen Jahren abhängt, ist aber $= \frac{1}{a} \cdot \frac{1}{a} = \frac{1}{a^2}$; wenn z. B. a = 4 ist, so tritt nur alle 16 Jahre eine reichliche Samenerndte ein. Möglich ist es, daß die Blüthenknospenbildung andere Temperaturen erfordert, als die Fruchtreife; in diesem Fall ist die Wahrscheinlichkeit eines Samenjahrs nicht durch $\frac{1}{a^2}$, sondern durch $\frac{1}{a.b}$ ausgedrückt, in welcher Formel a und b verschiedene Zahlen bedeuten. Es sei z. B. a = 4, b = 6, so ist $\frac{1}{a.b} = \frac{1}{24}$, was sagen will, daß nach den Regeln der Wahrscheinlichkeit alle 24 Jahre ein vollständiges Samenjahr zu erwarten sei.

Freistehende Bäume tragen häufiger und reichlicher Samen, als solche in geschlossenen Beständen, weil hier der Einzelstamm nicht so viele Wärme erhält, als da, wo die Sonne eine größere Zahl von Blättern treffen kann. Hieraus erklärt sich die öftere Fruchtbarkeit der Oberständer in Mittelwaldungen, der Alleestämme, der Bäume auf Viehwaiden, in Abtriebsschlägen ꝛc. Deßhalb greift der Forstwirth da, wo es ihm um eine reichliche und öfter wiederkehrende Fruchterzeugung der Waldbäume zu thun ist, zur Auslichtung. (Vorhieb bei der natürlichen Verjüngung). Ob das Sonnenlicht in Bezug auf die Fruchtbildung eine hervorragende Rolle spiele, ist noch nicht ausgemacht, wahrscheinlich begünstigt es den Ansatz der Blütheknospen und die Umwandlung der Säuren in den Früchten in Zucker, Dextrin, Amylon ꝛc. (Unreife Früchte scheiden im Sonnenlichte Sauerstoff aus. Saussure).

f. **Verspätung der Vegetationsphasen mit zunehmender Pol- und Meereshöhe.**

Wie im Vorbereitenden Theile ausgeführt wurde, nimmt die Temperatur ab, je weiter ein Ort vom Aequator entfernt oder über der Meeresfläche erhaben liegt. Es werden demnach auch die Vegetationsphasen nach den nämlichen Richtungen hin im Gegensatz zu niederen Breiten und meeresgleichen Lagen sich verspäten. Da aber das Gesetz der Temperaturabnahme nach dem Pol und den höheren Regionen des Luftkreises hin nicht blos von den mathematischen Dimensionen, sondern noch von vielen andern Umständen abhängig ist, welche nicht wohl in die Rechnung einzuführen sind, so läßt sich auch der Einfluß, den die Pol- und Meereshöhe auf das Zurückbleiben der Vegetation äußert, nicht für jeden Ort im Voraus bestimmen.

Die Eigenthümlichkeiten des Küsten- und Binnenlandklima's machen sich in Bezug auf den Eintritt des Blattausbruchs, der Blüthe, der Fruchtreife ꝛc. in auffallendem Maße geltend. Länder, welche in der Nähe der See liegen, haben wärmere Winter, als Orte tief im Continente, dagegen sind letztere durch wärmere Sommer ausgezeichnet. Hieraus erklärt es sich z. B., warum

in Brüssel (mit 2°,5 Wintertemperatur), wo der Weinstock früher austreibt, als in Ungarn, z. B. Ofen (mit 0,°6 Wintertemperatur), die Trauben zur Weinbereitung nicht benutzt werden können, während man in Ungarn vortreffliche Weine (Tokayer) erzieht. Allein Belgien hat nur 18°,2, Ungarn dagegen 21°,1 Sommertemperatur — Der Ausfall an Wärme, welcher sich durch das schiefere Auffallen der Sonnenstrahlen in höheren Breiten ergibt, wird zum Theile wieder ersetzt durch die längere Dauer des Tages und der hierdurch bedingten längeren Wirkung der Sonnenstrahlen, weßhalb Orte in Schweden und Rußland oft wärmere Sommertage haben, als mehrere Breitegrade tiefer gelegene Orte in England. Daher kommt es denn, daß die Erndte der Gerste in Mittelschweden z. B. in Upsala, wo der Juli eine Temperatur von 17° besitzt, durchschnittlich 10 Tage früher eintritt, als in England, wo die Wärme des Juli nur 16° beträgt.

Von großem Einflusse auf die Vollendung der Vegetationsphasen ist der Schutz durch die Umgebung, z. B. von höheren Bergen, oder Gebirgen, Waldungen ꝛc. Diese bewirken oft mehr, als eine um mehrere Grade südlichere Lage.

Im großen Durchschnitt rechnet man, daß in der gemäßigten Zone auf 1 Grad nördlicherer Breite eine Verspätung der Vegetationsphasen von vier Tagen kommt. Doch ist dies, wie bemerkt, nur eine Durchschnittszahl. In Frankfurt am Main schlagen die Bäume oft acht bis vierzehn Tage früher aus, als in Gießen, welches noch nicht einen halben Breitegrad von jenem entfernt liegt; dieser Unterschied ist dem Schutze zuzuschreiben, welchen die Berge des Taunus dem im Thale gelegenen Frankfurt gewähren.

Die Verspätung, welche die Vegetationsphasen bei wachsender Höhe über der Meeresfläche erfahren, weicht außerordentlich nach Maßgabe der Exposition und des Schutzes durch die Umgebung ab. Daher kann es vorkommen, daß an einem höher gelegenen Orte der Blattausbruch, die Blüthe ꝛc. früher eintreten, als in einer viel tieferen Lage. Zur Bestätigung dieses Satzes mögen einige von Wessely mitgetheilte Angaben, welche dem Gebiete der Oesterreichischen Alpen entnommen sind, dienen.

Ort der Beobachtung Seehöhe in Oesterr. Fußen	Inzell 2220	Fall 2260	Lienz 2380	Dez 2410	Kizbichl 2410	Krun 2610	Bruneken 2640	Embach 2870	Winklern 2910
				Belaubung.					
Rothbuche	7 Mai	—	9 Mai	6 Mai	3 Mai	13 Mai	11 Mai	—	—
Esche	—	—	11 "	—	4 "	—	11 "	15 Mai	—
Wallnuß	—	—	18 "	17 Mai	—	—	—	—	20 Mai
				Blüthebildung.					
Wohlr. Veilchen	3 April	11 Apr.	10 Apr.	8 Apr.	16 Apr.	—	11 Apr.	—	—
Kirsche	8 Mai	—	10 Mai	5 Mai	9 Mai	—	10 Mai	11 Mai	—
Erdbeere	—	—	9 "	10 Mai	—	—	10 "	—	13 Mai
Flieder	—	—	17 "	17 "	—	—	21 "	22 Mai	—
Roggen	10 Juni	—	14 Juni	10 Juni	—	—	15 Juni	—	17 Juni
Hollunder	14 "	15 Juni	16 "	18 "	—	21 Juni	—	—	24 "
Gerste	17 "	18 "	20 "	20 "	—	21 "	20 Juni	—	—
				Fruchtreife					
Kirsche	—	18 Juli	14 Juli	16 Juli	—	—	20 Juli	—	—
Roggen	2 Aug.	—	2 Aug.	30 "	31 Juli	—	2 Aug.	4 Aug.	5 Aug.
Gerste	—	8 Aug.	3 "	1 Aug.	—	11 Aug.	—	9 "	—
Waizen	—	—	19 "	—	18 Aug.	28 "	—	24 "	—
Hafer	22 Aug.	25 Aug.	29 "	—	—	—	27 Aug.	—	—
Hollunder	—	—	18 Sept.	—	—	21 Sept.	22 Sept.	—	—
Mais	—	—	18 "	—	—	—	20 "	—	30 Sept.

Nach den Beobachtungen, welche Berghaus in den Jahren 1833—34 in Sachsen aufzeichnete, verspätet sich für 333 Meter Erhebung über den Meeresspiegel

bei	die Blüthe	die Erndte
Winterwaizen	um 22 Tage	um 22 Tage
Roggen	„ 13 „	„ 22 „
Hafer	„ 20 „	„ 14 „
Gerste	„ 22 „	„ 22 „
Kartoffel	„ 23 „	„ 5 „

Wessely rechnet, daß der mittlere Unterschied im Eintritt der Vegetationsphasen für je 200 Meter Seehöhe etwa 6 Tage beträgt. Dies ist aber nach d'Aubuisson die Höhe, welche in den Alpen einer Temperaturabnahme von 1° entspricht. Auf 1 Grad wachsender Breite nimmt die mittlere Wärme um 0°,6; also auf 1,66 Grad Breite um 1 vollen Grad des Thermometers ab. Da wir nun vorhin gesehen haben, daß für einen Breitegrad die Vegetationsphasen um etwa 7 Tage zurückbleiben, so folgt, daß eine gleiche Temperaturverminderung in vertikaler Richtung, fast den nämlichen Effect in Bezug auf die periodischen Erscheinungen der Vegetation hervorbringt, wie in horizontaler Richtung.

Die Beobachtungen Boussingaults über die Erndte des Waizens, der Gerste und Kartoffeln zeigen, wie die Zeit, welche ein Gewächs braucht, um eine Vegetationsphase zu vollenden, mit der Breite zunimmt. Dies kann natürlich nicht anders sein, denn wenn die mittlere Tagestemperatur geringer wird, so ist eine größere Zahl von Tagen erforderlich, damit die nämliche Wärmesumme zu Stande komme. Es läßt sich daher auch erwarten, daß die spät erwachende Vegetation der Hochgebirge längere Zeit bedarf, um eine bestimmte Phase zu erreichen, als die Pflanzen in der Ebene. Wir lassen zur Bestätigung dieses Schlusses die Angaben von Wessely folgen. Nach diesem Schriftsteller verfließen im Hauptstocke der Oesterreichischen Alpen zwischen der Blüthenbildung und Fruchtreife

Seehöhe in Oester. Fußen	Kirsche	Winterroggen	Gerste
1500—2000	51 Tage	44 Tage	44 Tage
2000—3000	69 „	46 „	47 „
3000—4000	78 „	47 „	47 „
4000—5000	„	50 „	48 „
5000—6000	— „	56 „	51 „

Wir haben oben darauf aufmerksam gemacht, wie sehr die Häufigkeit der Samenjahre von der Wärme abhängt. Im Hochgebirge werden deßhalb die Samenjahre viel seltener eintreten, als in der Ebene. Nach Wessely erfolgt bei der Fichte ein zur natürlichen Verjüngung genügender Samenabfall

In einer Meereshöhe von Oester. Fußen	im Nordabfalle und im Hauptstock der Alpen	im Südabfalle der Alpen
1000	innerhalb 3 Jahren	—
2000	„ 4 „	innerhalb 3 Jahren
3000	„ 6 „	„ 4 „
4000	„ 8 „	„ 5 „
4500	„ 11 „	„ 6 „
5000	„ — „	„ 7 „
5500	„ — „	„ 8 „
6000	„ — „	„ 11 „

3. Einfluß der Wärme auf die Holzmassenerzeugung.

Alle Beobachtungen sprechen entschieden dafür, daß die Holzmassenerzeugung unter sonst günstigen Verhältnissen durch die Wärme beschleunigt wird. Wir brauchen nur den Wuchs der Riesenstämme eines tropischen Urwaldes zu vergleichen mit demjenigen der Weide (Salix polaris) auf Nowaja-Semlja, die in hundert Jahren sich kaum 16 Centimeter über den Moosrasen erhebt, in welchem der kriechende Stamm sich verbirgt, der oft erst in der doppelten Zeit eine Dicke von 4—5 Centimetern erlangt.

Im Hochgebirge, z. B. in den Alpen wird die Lärche in vielen hundert Jahren oft nicht stärker, als auf einem ihr zusagenden Boden des Flachlands in einem halben Jahrhundert.

Dagegen ist es eine ausgemachte Thatsache, daß in den kalten Lagen der Hochgebirge das Holz an Festigkeit und Härte gewinnt. Es bilden sich die weiten Gefäße oder Zellen des Frühlingsholzes in geringerer Zahl aus, der Jahrring besteht zum größern Theile aus den dickwandigen engen Zellen, welche bei dem in der Ebene erwachsenen Holze mehr an der dem Centrum des Stammes entgegengesetzten Seite des Ringes vorherrschen. Vielleicht läßt sich diese Erscheinung durch die kürzere Dauer des Frühlings im Hochgebirge erklären. Der Uebergang vom Winter zum Sommer ist hier viel rascher, als in der Ebene, der Frühling beschränkt sich nur auf wenige Tage, in welchen sich eben so wenige der weiten Zellen oder Gefäße bilden können. Die engen Zellen sind es aber, welche dem Holze Festigkeit, Tragkraft und Dauer verleihen; deswegen ist das Lärchenholz der Alpen so sehr für den Schiffsbau gesucht, während man solches, welches in der Rhein-Neckarebene bei Mannheim erwachsen ist, nur der Pappel und Weide gleichstellen kann. Dagegen ist die Ansicht einiger Schriftsteller, daß die Lärche nur in so kalten Lagen, wie sie z. B. die Alpen darbieten, zum starken Baum erwachse, eine durchaus irrige; der Verf. kennt in der Nähe seines Dienstbezirkes in 300 Metern Meereshöhe Lärchenbestände, in welchen fast alle Stämme eine Höhe von 30 Metern und eine Stärke von $^1/_2$—$^3/_4$ Metern aufzuweisen haben, obgleich das Holz erst 50jährig ist. Die Qualität des letzteren steht freilich

derjenigen der Alpenlärche etwas nach, ist aber noch immer vortrefflich genug, um diesen Bäumen den Ruf eines ausgesuchten Nutzholzes zu verleihen.

In unserem Klima beobachten wir häufig, daß die Nordseiten der Berge mit stärkerem Holze bestanden sind, als die Südseiten. Der Zuwachsausfall, den die letztern zeigen, kommt hier allerdings auf Rechnung der Wärme, aber nicht in unmittelbarer Beziehung. Die Wärme wirkt an den Südseiten nur deßhalb nachtheilig auf die Holzmassenerzeugung ein, weil sie die Feuchtigkeit des Bodens verzehrt, eine übermäßige Verdunstung der Blätter hervoruft und den Humus, namentlich die abgefallenen dürren Blätter so weit austrocknet, daß diese leicht ein Spiel der Winde werden. Ueberall da, wo es den Südseiten nicht an natürlicher Feuchtigkeit mangelt, wo z. B. der Boden durch Quellen frisch erhalten wird, ist der Holzzuwachs stärker, als auf den Nordseiten. Dieses Verhalten hat der Verfasser zum öfteren im Schwarzwald beobachtet.

Es gibt keine Baumart, ja man kann sagen, keine Pflanze, welche in kalten Lagen mehr Holzfaser bildete, als in einem warmen Klima, vorausgesetzt, daß es diesem nicht an der nöthigen Feuchtigkeit des Bodens und der Luft fehle. Alle Gewächse, welche der Polarzone eigen sind oder zunächst der Schneegrenze im Hochgebirge wohnen, sind an diesen Standort nicht durch die Kälte an und für sich, sondern durch die Feuchtigkeit gefesselt, welche ihnen dort zu Gebote steht oder ihnen selbst, wegen der geringen Verdunstung, erhalten bleibt. Bringen wir diese Pflanzen in die feuchte Atmosphäre eines warmen Treibhauses, so sehen wir dieselbe sich viel kräftiger entwickeln, als in ihrer eigentlichen Heimath.

Wo an Feuchtigkeit kein Mangel ist, da wirkt die Wärme nur günstig auf die Massenerzeugung des Holzes ein.

4. Einfluß der Wärme auf die Nebennutzungen der Holzbestände.

Daß die Erndten von Getraide und Gras in warmen, aber nicht gerade trockenen Lagen besser ausfallen, als auf kalten Standorten, ist eine ausgemachte Sache.

Auf den Zuckergehalt der Pflanzen-Säfte und Früchte wirkt die Wärme verschieden ein. Es gibt Gewächse, welche nur in heißen Klimaten Zucker liefern, während bei andern die Ergiebigkeit an Zucker abnimmt, sobald sie aus der gemäßigten in die heiße Zone gebracht werden. Zu den ersteren gehört z. B. das Zuckerrohr; in unsern Treibhäusern erzogen ist sein Saft ärmer, als derjenige der Runkelrübe. Die Aepfel und Birnen dagegen verlieren in der heißen Zone an Süße. Der Zuckergehalt des Ahornsaftes ist in solchen Gegenden am größten, welche neben recht warmen Sommern kalte Winter besitzen, deswegen ist das innere Nordamerika ganz besonders zur Cultur der auf Zucker zu benutzenden Ahorne geschickt.

Der Gehalt der Eichenrinde an Gerbstoff scheint im südlichen Deutsch-

land größer zu sein, als im nördlichen; doch liegen noch zu wenige Untersuchungen vor, als daß man mit Sicherheit hierüber entscheiden könnte. Nach den Erfahrungen des Verf. ist im mittleren Deutschland der Gerbstoffgehalt der Eichenrinde in den Niederungen nicht so bedeutend, als auf den Vorbergen und in etwas exponirten Lagen.

Die Knoppern erzeugen sich nur in Gegenden mit warmen Sommern.

Der Terpenthingehalt der Nadelhölzer nimmt gegen Süden zu, auch liefern Südseiten eine verhältnißmäßig beträchtlichere Ausbeute an Harz, als Nordseiten.

5. **Hitze.**

So wohlthätig die Wärme auf die Vegetation einwirkt, wenn es dieser nicht an Feuchtigkeit mangelt, eben so schädlich wird sie im entgegengesetzten Falle.

Die Hitze ist der Waldvegetation in zweifacher Hinsicht nachtheilig: einmal dadurch, daß sie die Pflanzen zu übermäßiger Verdunstung ihrer Feuchtigkeit reizt, zum andern wegen der Austrocknung des Bodens.

Am meisten leiden durch die Hitze diejenigen Holzarten, welche schon an und für sich, durch die Structur der Blattoberfläche, zur Verdunstung geneigt sind, also namentlich die Buche, Fichte und Weißtanne. Aber auch diesen schadet die Hitze mehr in dem jugendlichen Alter, wenn die Wurzeln noch nicht tief in den Boden eingewurzelt sind. Daß flachwurzelnde Holzarten, namentlich auf einem nicht tiefgründigen Boden der Hitze eher unterliegen, als Holzarten mit tiefgehender Bewurzelung, bedarf keine weitere Ausführung.

Eine erhöhte Temperatur der Luft im Schatten wird den Gewächsen bei weitem nicht so nachtheilig, als das directe Auffallen der Sonnenstrahlen, weil die Wärme, welche die letztern erzeugen, wenn sie einen Gegenstand treffen, viel größer ist, als die Temperatur, welche die Luft selbst annehmen kann. Am verderblichsten wird die Hitze, wenn beides zusammenwirkt.

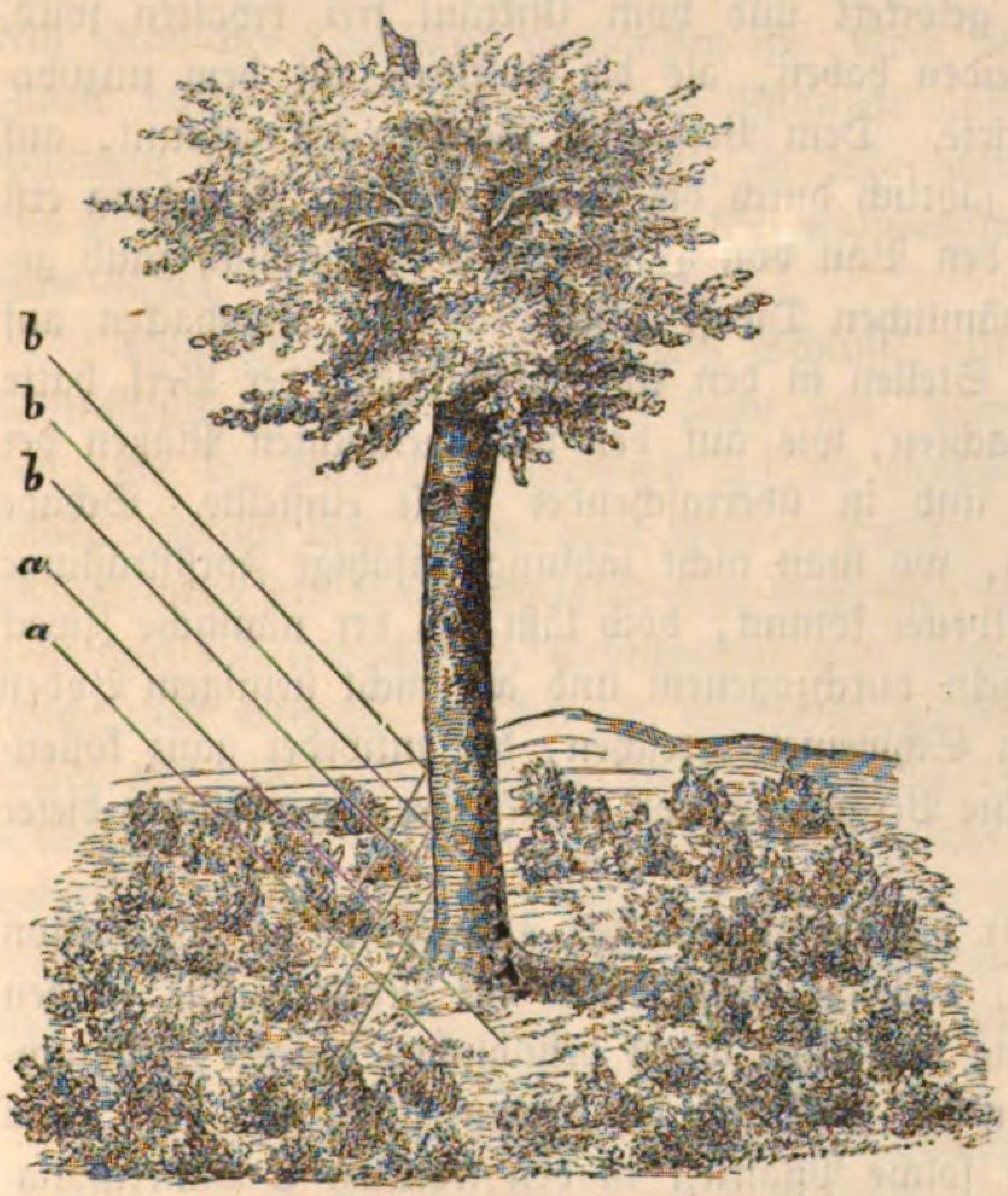
Die Wärme, welche einem Körper durch die Sonnenstrahlen mitgetheilt wird, wächst in dem Maße, als der Winkel, unter welchem die Sonnenstrahlen auffallen, einem rechten sich nähert. Daher leiden die Pflanzen durch die Hitze an Süd-, Südost- und Südwestseiten mehr, als auf den übrigen Expositionen und auf ebenen Lagen.

Die schädlichsten Wirkungen der Hitze erreichen übrigens nicht gerade im Sommersolstitium, also im letzten Drittel des Juni, ihren höchsten Betrag, wenn schon die Sonne zu dieser Zeit am höchsten steht; die Verheerungen der Dürre treten vielmehr am stärksten durchschnittlich im Juli und selbst im August ein. Die Ursache dieses Verhaltens liegt darin, daß das Maximum der Lufttemperatur nicht mit dem höchsten Stand der Sonne zusammenfällt, sondern etwa einen Monat später erfolgt. Bis dahin hat sich zwar die Sonne schon etwas, aber doch verhältnißmäßig noch nicht viel gesenkt. Ende Juli und

Anfang August bilden also die Periode, in welcher eine solche Temperatur der Luft, und ein hoher Stand der Sonne zusammentreffen. Um diese Zeit hat überdies auch der Boden von der Feuchtigkeit, welche ihm während des Winters und des Frühlings zu Theil geworden war, schon viel verloren, wenn nicht gerade der Sommer durch häufige Regen ausgezeichnet war. Im Frühjahr sind zwar die jungen Pflänzchen noch viel schwächer bewurzelt, als im Sommer, troß dem rafft die Dürre in der letzteren Jahreszeit eine größere Zahl Pflanzen hin; es rührt dies daher, weil der Boden im Frühjahr mehr Feuchtigkeit besitzt, als im Sommer. Hiermit soll übrigens nicht gesagt sein, daß im Sommer unter allen Umständen mehr Schaden durch Dürre stattfindet, gar oft ist das Frühjahr trocken und der Sommer feucht, in diesem Falle leiden natürlich die Pflanzen im Frühjahr mehr von der Dürre. Aber im großen Durchschnitt sterben doch im Sommer, und zwar Ende Juli und Anfang August, mehr Pflanzen in Folge von Dürre ab, als im Frühjahr.

Am verderblichsten werden die Sonnenstrahlen den Holzpflanzen dann, wenn sie diese von zwei Seiten zugleich treffen, nämlich einmal direct (a) (Fig. 161.) und das andere Mal durch Reflexion (b). Dieser Fall ereignet sich am häufigsten in den Abtriebsschlägen, wenn die Mutterbäume zu lange übergehalten werden und endlich so licht zu stehen kommen, daß die Sonnenstrahlen die Stammrinde direct treffen können. Ist diese nun glatt oder hat sie, wie bei ältern Buchen und Weißtannen und bei Birken der Fall ist, eine helle Farbe, so wirkt sie wie ein Spiegel, sie gibt die Sonnenstrahlen (b) in dem nämlichen Winkel zurück, in welchem diese der Rinde zugekommen waren.

Figur 161.



So wird denn in der unmittelbaren Umgebung des Mutterstammes eine fast kreisförmige Fläche, welche sich während der dunkleren Stellung des Schlages mit jungen Pflanzen bestockt hatte, ganz versengt, und es läßt sich nicht eher auf derselben kultiviren (geschweige denn eine natürliche Besamung erwarten), bis der die Sonnenstrahlen reflectirende Mutterstamm entfernt worden ist.

Je mehr Feuchtigkeit ein Boden durch seine Lage besitzt, je mehr er vermöge seiner Zusammensetzung geschickt ist, sich in dem Zustand der Frische zu erhalten, um so weniger haben die auf ihm wachsenden Pflanzen von einer hohen Temperatur der Luft und von den Sonnenstrahlen zu leiden. Auch Tiefgründigkeit des Bodens schützt gegen die Hitze, weil sie den Pflanzen gestattet, längere Wurzeln zu bilden und mit diesen die unteren frischeren Erdschichten zu erreichen.

Ist ein Boden mit Gras oder Unkraut überzogen, so nimmt dieses die feinen Regenniederschläge nebst dem Thau auf, und hält dadurch den Boden trocken. Daher lassen sich die Holzpflanzen vor den verderblichen Wirkungen der Hitze oft dadurch bewahren, daß man den Bodenüberzug entfernt. Nun kommen die atmosphärischen Niederschläge der Erde unmittelbar zu gut und können zu den Wurzeln der Holzgewächse gelangen. Die Bearbeitung des Bodens (z. B. das Umhacken) wirkt ebenfalls auf den Feuchtigkeitszustand desselben günstig ein, die rauhe Oberfläche der Erde strahlt Nachts mehr Wärme aus, kühlt sich also stärker ab und verdichtet in Folge dessen viel Wasserdampf aus der Atmosphäre. Dies erklärt, warum die Pflanzen in den Forstgärten, wo der Boden gelockert und vom Unkraut frei erhalten wird, weniger von der Dürre zu leiden haben, als die Culturen auf dem unzubereiteten Boden der Walddistricte. Dem Verf. sind Sandstrecken bekannt, auf welchen die Saat der Kiefer jährlich durch die Dürre einging; sie gelang erst dann, als der Boden durch den Bau von Hackfrüchten oberflächlich rauh gemacht worden war. Den nämlichen Dienst leistet das sog. Kurzhacken auf kahlen, unbesamt gebliebenen Stellen in den Abtriebsschlägen; der Verf. hatte vielfach Gelegenheit, zu beobachten, wie auf den wundgemachten Plätzen der Buchenaufschlag sich schnell und in überraschender Fülle einstellte. Schade nur, daß das Kurzhacken da, wo man nicht zahlungsunfähige Forststräflinge hierzu verwenden kann, zu theuer kommt; doch läßt sich der nämliche Zweck auf nicht zu stark von Wurzeln durchzogenem und auf nicht steinigem Boden auch durch den Umbruch von Schweinen erreichen, der entweder ganz kostenfrei oder sogar noch gegen eine Vergütung von Seiten der Eigenthümer dieser Thiere erfolgen kann.

Als wir oben (S. 396) die Wichtigkeit des Thaues für die Vegetation betrachteten, wurde erwähnt, daß die Wasserreiser der Mutterbäume in den Abtriebsschlägen die Abkühlung des unter ihnen befindlichen jungen Nachwuchses und damit zugleich verhindern, daß sich die kleinen Pflänzchen mit Thau beschlagen. Natürlich müssen solche Pflanzen in den trocknen Sommermonaten, wo die Zufuhr von Feuchtigkeit allein auf den Thau beschränkt ist, leicht durch Hitze zu Grunde gerichtet werden. Wie man durch Wegnahme der Wasserreiser dem Uebelstande abhilft, wurde gleichfalls angegeben.

Ueberhaupt tritt auf trockenen Standorten, wo keine Fröste zu befürchten sind, gar bald der Zeitpunkt ein, nach welchem die Mutterbäume dem Nach

wuchs mehr schaden, als nützen. So lange die Pflänzchen noch klein und schwach bewurzelt sind, werden sie durch die Oberständer gegen die Sonnenstrahlen geschützt; haben sie aber einmal sich mehr ausgebildet, hat sich das Wurzelsystem mehr entwickelt, so daß sie selbstständig vegetiren können, dann werden ihnen die Mutterbäume nur nachtheilig, indem sie die feinen Regenniederschläge auffangen und die Thaubildung am Boden verhindern. Auf solchen Standorten soll man daher mit der Räumung des Abtriebsschlages nicht zu lange säumen. Auf Froststellen dagegen ist der Boden gewöhnlich auch feucht oder wenigstens frisch, hier schadet trockene Witterung den jungen Pflanzen weit weniger, und die Mutterbäume können zum Schutz gegen die Fröste ohne Nachtheil länger übergehalten werden.

Wenn die Aufgabe vorliegt, eine gegen die Hitze empfindliche Holzart auf einer Blöße anzuziehen, so läßt sich dieselbe in mehrfacher Weise lösen. Entweder man bearbeitet den Boden vor der Aussaat des Samens, oder man baut vorher eine Holzart an, welche von trockener Witterung und Sonnenbrand weniger zu leiden hat, z. B. die Kiefer. Nach diesen Methoden lassen sich Buchen-, Fichten- und Weißtannensaaten an solchen Orten aufbringen, wo kein förmlicher Oberstand vorhanden ist. Noch besser erreicht man aber seinen Zweck durch Wahl von stärkeren Pflanzen anstatt der Saat. Werden die Pflanzen mit den Ballen eingesetzt, so lege man den Lochballen dicht neben das Stämmchen an die Südseite. Bei Rinnensamen bringe man den Abraum eben dahin.

Pflanzen, welche in dichtem Schlusse aufgewachsen oder längere Zeit überschirmt gewesen sind, gehen leicht ein, wenn sie in's Freie versetzt werden, wo die Sonne ungehindert auf sie einwirken kann. Solche Pflanzen haben nämlich eine dünne zarte Rinde, welche, ähnlich wie das Blatt, zur Verdunstung der Saftfeuchtigkeit sehr disponirt ist, während bei den von Jugend auf frei erwachsenen Stämmchen eine verhältnißmäßig stärkere Borkenschicht sich erzeugt, welche die Verdunstungsfähigkeit beschränkt. Man soll daher auf solchen Localitäten, welche der Sonne sehr exponirt sind (z. B. auf Südseiten) keine Pflanzen verwenden, welche mit dem genannten Mangel behaftet sind, oder erst eine ausdauernde Holzart auf der Culturstätte anziehen, welche jener zum Schutze gegen die Sonnenhitze dient. Schneller kommt man zum Ziele, wenn man die Pflanzen vor dem Einsetzen über der Wurzel abwirft, doch gilt dies nur für Laubhölzer.

Aber auch noch ältere Exemplare von mehrern Holzarten, zu denen namentlich die Buche, Hainbuche, die hochstämmigen Ahorne, die Esche und die glattrindige Rüster gehören, leiden durch Sonnenbrand, wenn sie plötzlich freigestellt werden, so daß die Sonnenstrahlen die Rinde direct treffen können. Hier geht aber selten die ganze Pflanze augenblicklich ein, es vertrocknet vielmehr zuerst parallel mit der Stammaxe ein Streifen Rinde an der Seite des Baumes, welcher am stärksten von der Sonne getroffen wird, und löst sich

nach und nach ab. Das Holz wird dadurch bloß gelegt und fault leicht ein, wenn nicht von den Rändern der noch fest mit dem Stamm verbundenen Rinde eine Ueberwulstung erfolgt, welche die entblößte Stelle allmählig überdeckt. Man nennt diese Erscheinung Rindenbrand; sie zieht das Absterben des Baumes nur dann nach sich, wenn die vertrocknete Rinde eine verhältnißmäßig große Fläche einnimmt. An rauhborkigen und bemoosten Stämmen kommt der Rindenbrand nicht vor.

Um den Rindenbrand zu verhüten, darf man, namentlich auf ungeschützten Südseiten, die Durchforstungen und Auslichtungen zum Zweck der Samenschlagstellung nicht zu stark greifen, man halte vielmehr den Hieb von vorn herein ganz schwach, wiederhole ihn aber öfter, damit die Rinde nach und nach erstarkt und zuletzt die volle Einwirkung der Sonnenstrahlen ohne Nachtheil erträgt. Auch verzichte man darauf, Stämme von solchen Holzarten, welche den Rindenbrand zu fürchten haben, zur Nutzholzerziehung für einen zweiten Umtrieb überzuhalten. Ueberhaupt hat das Ueberhalten der Bäume noch andere Mißstände im Gefolge; werden nämlich solche Stämme im Laufe der Umtriebszeit schadhaft und müssen sie entfernt werden, so wird dadurch das junge Holz in der Umgebung dieser Stämme bloß gestellt und leidet nun, wenn es eine zärtliche Holzart ist, ebenfalls vom Rindenbrand. Der Waldbau gibt übrigens Mittel an die Hand, um starkes Holz in geschlossenen Waldungen zu erziehen, wo alle diese Nachtheile nicht zu besorgen sind.

Wenn die Sonne den Boden direct treffen kann, dann trocknet sie ihn mehr oder weniger aus und entzieht dadurch mittelbar den Pflanzen die Feuchtigkeit, welche dieselben zu ihrem Bestehen nöthig haben. Nicht alle Erdarten geben das Wasser, welches sie in ihren Zwischenräumen enthalten, gleich gut ab; alle gebundenen Bodenarten, wie Thon und Lehm, bewahren die Feuchtigkeit länger, als die leichtern Erdsorten, wie z. B. der Sand; der Humus hält sie am längsten. Dunkel gefärbte Erden, z. B. solche, welche aus schwarzem, kohlehaltigem Thonschiefer entstanden sind, erwärmen sich zu einem höhern Temperaturgrade, als Erden mit heller Farbe. Unter gewissen Verhältnissen kann eine deractige Temperaturerhöhung erwünscht sein; so überstreut man z. B. am Rhein die Weinbergserde zuweilen mit Kohle, damit die Trauben auch in weniger warmen Jahrgängen reifen.

Wenn der Humus in Folge starker Erwärmung ausgetrocknet wird, so verlieren die Substanzen, aus welchen er besteht, also die Fragmente von Blättern, Nadeln, Zweigen, Unkräutern, Moos rc. ihren Zusammenhang und werden leicht ein Spiel der Winde. Dadurch vermagert der Boden und wird dann sowohl zur Holzerzeugung, als auch namentlich zur Aufnahme der von den Bäumen fallenden Baumsamen ungeschickt. Diese Bodenausmagerung tritt dann besonders in hohem Grade ein, wenn die Sonnenstrahlen von mehrern Seiten her den Humus treffen können, wozu, wie schon oben ausgeführt wurde, eine Reflexion der Wärme gehört. Dieser Fall tritt namentlich im

Umkreise alter freistehender Buchen mit heller Rinde häufig ein, während die rauhere, dunkler gefärbte Borke der Eiche die Wärme nicht in dem Maße reflectirt. Der Verf. kennt eine zu landwirthschaftlicher Zwischennutzung verpachtete Waldfläche, welche früher mit einzelnen Buchen und Eichen bestanden war; noch gegenwärtig, nachdem die Bäume bereits mehrere Jahre gerodet sind, läßt sich an dem schlechtern Wuchse der Feldgewächse die Stelle beurtheilen, wo eine Buche gestanden hatte.

6. Einfluß der Bodenwärme.

Je tiefer man von der Oberfläche des Bodens abwärts steigt, um so mehr findet man, daß die Differenzen der täglichen und monatlichen Temperaturextreme verschwinden. Es werden daher die Wurzeln der Bäume weder von so hohen Wärmegraden, noch von so strenger Kälte getroffen werden, als die oberirdischen Theile des Stammes.

Die Schwankungen der täglichen und monatlichen Temperatur verspäten sich gleichfalls mit der Tiefe. Diese Erscheinung ist in Bezug auf die Vegetationsdauer von Bedeutung. Denn erstere wird, so läßt sich vermuthen, bei tiefwurzelnden Bäumen etwas weiter in den Herbst hinausgerückt werden, während der Blattausbruch später erfolgt.

Der Schnee hindert, als ein schlechter Wärmeleiter, das Eindringen der Kälte in den Boden; ebenso wirkt, aus dem nämlichen Grunde, der Humus. Deswegen friert der Boden, wenn er mit einer hohen Schichte Schnee oder Humus bedeckt ist, im Winter nur bei höheren Kältegraden. Im Frühjahr äußert der Humus eine entgegengesetzte Wirkung; er läßt die Wärme nur langsam in den Boden eindringen und hält dadurch das Erwachen der Vegetation zurück. Dieser Umstand ist für solche Orte, welche oft von Spätfrösten heimgesucht werden, von Wichtigkeit. Bäume, deren Wurzeln mit Laub oder Moos &c. bedeckt sind, blühen zu einer Jahreszeit, in welcher die Fröste bereits vorübergegangen sind.

7. Frost.

A. Nützliche Wirkungen des Frostes.

Der Winterfrost nützt der Vegetation mittelbar dadurch, daß er den Boden lockert. Wenn das Wasser, mit welchem jede Erdart mehr oder weniger durchdrungen ist, gefriert, so nimmt es einen größern Raum ein; dadurch werden die Theilchen der Erde von einander getrennt. Die durch den Frost bewirkte Bodenlockerung ist in zweifacher Beziehung vortheilhaft; die Wurzeln der Gewächse können in ein solches Erdreich besser eindringen, und der Luft, dem Wasser und der Kohlensäure sind mehr Angriffspuncte dargeboten, um die Erdpartikelchen zu zersetzen.

B. Schaden des Frostes.

a. Allgemeines über den Erfriertod bei den Pflanzen.

Wenn chemisch reines Wasser auf die Temperatur von 0° erkältet wird, so geht es, einige wenige Ausnahmsfälle abgerechnet, aus dem flüssigen Zustand in den festen über. Ist aber das Wasser mit andern Stoffen verunreinigt, welche in ihm aufgelöst sind, so liegt der Erstarrungspunkt unter 0°.

Das Holz enthält zu allen Zeiten Feuchtigkeit, welche sich theils in den Zellen und Gefäßen, theils aber auch in den Wänden derselben befindet. Bei einer Temperatur, welche nur wenig unter 0° liegt, werden die Säfte der Gewächse fest.

Dieser Zustand verursacht aber nicht bei allen Pflanzen den Tod. Die Vegetabilien, welche in der gemäßigten und kalten Zone heimisch sind, können unter gewissen Verhältnissen weit niedrigere Temperaturen ohne Schaden ertragen. Dagegen sterben manche rein tropische Pflanzen schon dann ab, wenn die Temperatur wenige Grade über dem Gefrierpunkt steht. So geht z. B. Ocymum basilicum immer ein, wenn die Wärme unter + 5° sinkt. Diese Pflanze ist schon seit 1548 in England eingeführt, und doch hat sich ihr Verhalten gegen die Temperatur noch nicht geändert.

Man war früher der Ansicht, der Erfriertod beruhe auf einem Zerreißen der Zellen- oder Gefäßwände, welches durch die Eisbildung bewirkt werde. Wollte man nun auch annehmen, daß die Elementarorgane der Pflanzen durch das Gefrieren der Säfte in dieser Weise verletzt werden, so beweisen die so eben angeführten Thatsachen, daß dadurch die Pflanzen noch lange nicht zum Absterben gebracht werden. Allein die vorige Annahme ist auch ganz unrichtig, denn Göppert hat durch genaue anatomische Untersuchungen gezeigt, daß die Wände der Holzzellen nicht zerrissen werden, auch wenn ihr flüssiger Inhalt durchaus in den festen Zustand übergeht. Möglich ist es, daß der Erfriertod durch gewisse Veränderungen in der physikalischen und chemischen Beschaffenheit der Substanz der Pflanzenzelle veranlaßt wird; welches aber diese Veränderungen seien, darüber wissen wir bis jetzt noch so viel, wie nichts. Hundeshagen hält den Erfriertod für eine „eigenthümliche Wassersucht" der Gewächse, welche „in dem Unvermögen bestehe, das aus der Saftmasse herausgetretene Aufweichewasser wieder reassimiliren zu können". Er führt zur Unterstützung dieser Ansicht das Verhalten des Stärkekleisters in der Kälte an. Wenn nämlich diese Substanz gefriert und dann wieder aufthaut, so wird sie zum Kleben untauglich, eine helle wässerige Flüssigkeit scheidet sich ab und eine zähe elastische zum Kleben untaugliche Masse bleibt zurück. Gegen diese, von Vogel beobachtete, Thatsache läßt sich nichts einwenden, allein es ist entschieden falsch, sie zu verallgemeinern. Aus vielen in den Pflanzen vorkommenden hydratisirten Säuren wird das Wasser beim Gefrieren nicht ausgeschieden; wir führen als Beleg z. B. die Oxalsäure

an, diese läßt selbst bei den niedrigsten Temperaturen ihr Hydratwasser nicht fahren.

Nach dem gegenwärtigen Zustande der organischen Chemie und der Pflanzenphysiologie können wir von dem Erfriertod nichts Anderessagen, als daß er auf einem Verschwinden der Lebenskraft beruhe. Damit ist aber die Erscheinung lange noch nicht erklärt, denn diese Phrase ist weiter nichts, als eine Umschreibung des Wortes Tod.

b. Umstände, von welchen das Erfrieren abhängt.

α. Temperatur.

Es ist schon oben bemerkt worden, daß die Temperaturen, bei welchen die Pflanzen erfrieren, verschieden sind. Unter den tropischen Gewächsen gibt es einige, welche von Temperaturen über 0° getödtet werden, während gewisse Pflanzen der gemäßigten Zone eine Kälte aushalten, bei welcher das Quecksilber erstarrt. Allein auch für eine und die nämliche Pflanze besteht keine bestimmte Temperatur, welche den Erfriertod hervorruft; letzterer hängt ganz besonders von dem Zustande der Entwicklung ab, in welchem die Pflanze zur Zeit des Frostes sich befindet.

Einen plötzlichen Uebergang der Wärme zur Kälte, oder umgekehrt der Kälte zur Wärme können die Pflanzen weit weniger ertragen, als viel stärkere Kältegrade, wenn diese allmählig eintreten und in der nämlichen Weise wieder verschwinden. Namentlich ist ein schnelles Aufthauen gefrorner Pflanzen oder deren Theile gefährlich.

β. Jahreszeit.

Außer der Saftzeit halten die in der kalten und gemäßigten Zone heimischen Holzgewächse mitunter sehr hohe Kältegrade aus, dagegen sterben die Blätter und noch nicht verholzten Triebe oft bei der Temperatur des Gefrierpunktes oder wenige Grade unter 0 ab, ja es gehen von den zärtlichen Holzarten bisweilen stärkere Aeste und die Bäume selbst ein. Der Nußbaum leidet im nördlichen Deutschland, wo seine Früchte selten reifen, weniger von den Frühlingsfrösten, als am Rhein, denn hier tritt das Frühjahr zeitiger ein, das vegetative Leben regt sich schon mächtig in den Bäumen, während diese mehrere Breitegrade nördlicher noch den Winterschlaf halten.

Der größte Schaden, den der Frost anrichtet, findet also weniger bei den höchsten Kältegraden statt, weil diese gewöhnlich nur mitten im Winter vorkommen, wo die Vegetation noch nicht erwacht ist.

Die Fröste, welche die Pflanzen während der Vegetationszeit treffen, fallen zum größern Theil in das Frühjahr und in den Herbst; Fröste im Sommer, zu welchem wir klimatologisch die Monate Juni, Juli und August rechnen, sind im Verhältniß zu den ersteren selten. Häufiger schon kommen

sie im Hochgebirge vor, wo der Uebergang vom Winter zum Sommer durch ein viel kürzeres Frühjahr erfolgt.

Die Frühlingsfröste nennt der Forstmann gewöhnlich „Spätfröste," die Herbstfröste dagegen „Frühfröste." Letztere werden namentlich den noch nicht verholzten Pflanzentheilen gefährlich. So haben von ihnen die Eichenlohden in den Lohschlägen häufig zu leiden, weil in diesen der Abtrieb und somit auch der Wiederausschlag der Stöcke später erfolgt, als in den gewöhnlichen Niederwaldungen. Auch im Hochgebirg ist die Vegetation wegen des kürzeren Sommers den Frühfrösten stark ausgesetzt.

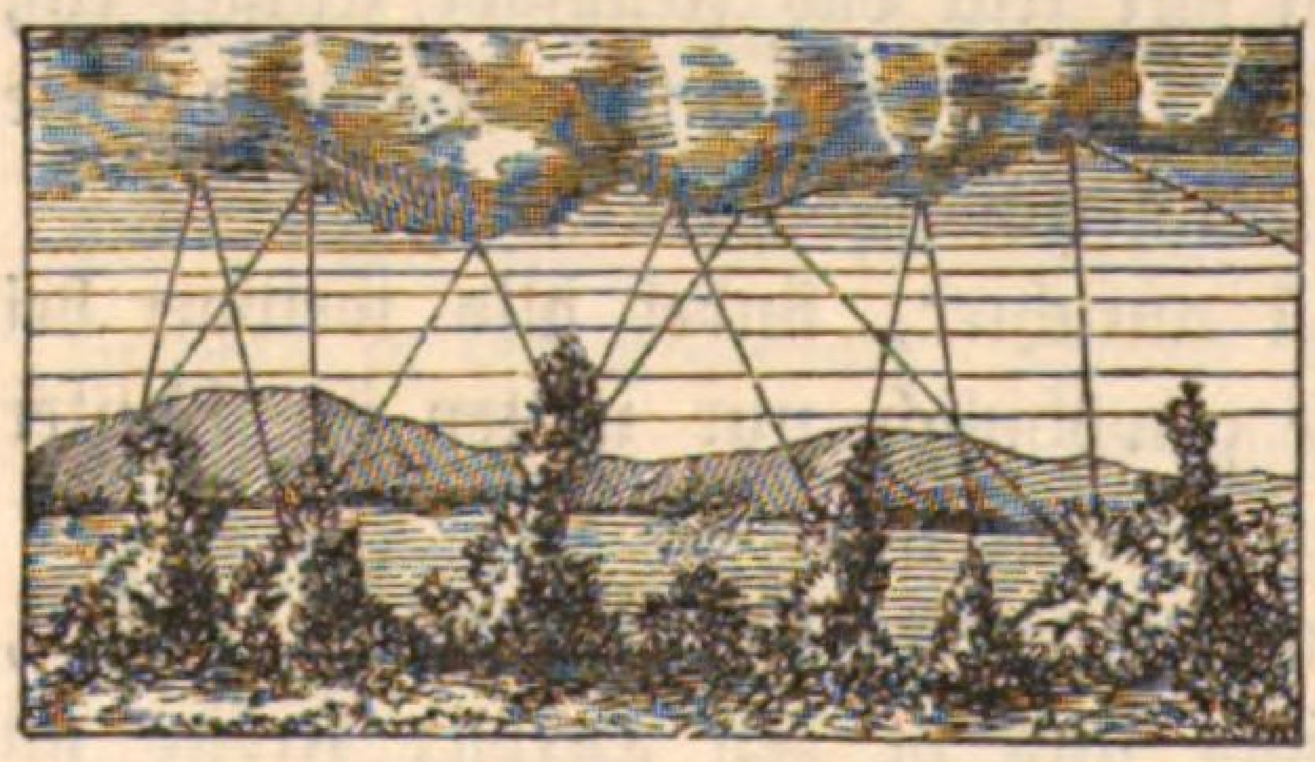
γ. Tageszeit.

Die Früh- und Spätfröste ereignen sich fast immer kurz vor Sonnenaufgang, weil zu dieser Zeit das Minimum der Temperatur eintritt. Von einem Spätfrost kann nur dann die Rede sein, wenn die Temperatur am Tage bereits so hoch gestiegen war, daß die Vegetation sich entwickeln konnte; in diesem Falle erfolgt der Frost nicht des Abends oder mitten in der Nacht, weil die Wärme nach Sonnenuntergang nur allmählig abnimmt; es gehört also im Frühling nothwendig das Minimum der täglichen Temperatur dazu, um einen Frost zu Stande zu bringen. Im Herbst findet ein ähnliches Verhältniß bezüglich der Frühfröste statt.

Gewöhnlich ist aber die Temperatur der Pflanzen, wenn sie von den Früh- und Spätfrösten leiden, niedriger, als diejenige der Luft, welche diese Pflanzen umgibt. Das Erfrieren erfolgt nämlich nicht blos durch die niedere Temperatur, welche die Luft den Pflanzen mittheilt, sondern durch die eigene Wärmeausstrahlung, zu welcher die grünen Theile der Vegetabilien ganz besonders disponirt sind. Melloni beobachtete, daß die Temperatur von Ulmen- und Pappelblättern in einer heitern Nacht 3° unter diejenige der Luft sank. Hieraus erklärt es sich also, warum im Frühjahr und Herbst oft nur die grünen Theile der Gewächse mit Reif bedeckt sind.

δ. Witterung.

Figur 162.



Nach dem so eben Vorgetragenen wird man es begreiflich finden, warum die Früh- und Spätfröste so selten bei bedecktem Himmel auftreten. Die Wolken geben die Wärme, welche von den Pflanzen ausgestrahlt wird, wieder zurück (Figur 162.); es kann also in diesem Falle ein Frost nur durch einen kalten Wind hervorgerufen werden. Man hat versucht, auf künstlichem Wege den Schutz herzustellen, welchen der bedeckte Himmel den Pflanzen gegen das Erfrieren ge-

währt, und unter den Mitteln, welche zu diesem Zweck angewendet worden sind, nimmt der Rauch eine vorzügliche Stelle ein. Wie uns Boussingault erzählt, setzen die Eingebornen von Oberperu, welche die hohen Ebenen von Cuzko bewohnen, feuchtes Stroh oder Mist in Brand, um Rauch zu erzeugen und damit die Durchsichtigkeit der Atmosphäre zu trüben, wenn ein sternenheller Himmel und eine wenig bewegte Luft einen Frost befürchten lassen. — Das eben angegebene Mittel zur Verhütung des Frostschadens läßt sich wohl auf den Feldern, wo jeder Eigenthümer für eine verhältnißmäßig kleine Fläche zu sorgen hat, und auch in Forstgärten, oder auf kleineren Culturstellen anwenden, aber es eignet sich nicht für größere Flächen. Hier hat es aber auch der Forstmann in der Hand, durch geeignete Auswahl der Holzart und durch die Methode der Waldbehandlung den nachtheiligen Wirkungen des Frostes zu begegnen, wovon später die Rede sein soll.

Auch bei bewegter Luft tritt in der Regel kein Frost ein. Wie vorhin bemerkt wurde, kühlen sich die Pflanzen durch die eigene Wärmeausstrahlung unter die Temperatur der Luft ab. Weht aber ein Wind, so wird die erkaltete Pflanze fortwährend mit wärmerer Luft in Berührung gebracht, auf deren Kosten sie sich nun auch erwärmt. Am Rheine hat man beobachtet, daß der Weinstock am Spaliere erfriert, während der freistehende vom Froste nicht beschädigt wird. Das kommt daher, weil der nicht angebundene Weinstock vom Winde hin und her bewegt werden kann; er trifft also mit einer größern Menge warmer Luft zusammen. Die Winde bringen nur dann Frost, wenn sie eine niedrige Temperatur besitzen. Dieser Fall tritt aber verhältnißmäßig selten ein; gewöhnlich ist der Wind höher temperirt, als die Pflanzen.

Hiermit stimmt auch die Erfahrung überein, daß solche Orte, welche vor dem Luftzug geschützt sind, vorzugsweise von den Frösten zu leiden haben. Man weiß, daß der Frostschaden in Thälern, Mulden und Klingen gewöhnlich beträchtlicher ist, als auf den freiliegenden Höhen in der Umgebung dieser Vertiefungen, wenn schon im Allgemeinen die Temperatur mit der Erhebung über die Meeresfläche abnimmt. Bei kleineren Höhendifferenzen ist diese Abnahme in der That geringer, als der Wärmeverlust, welchen die Pflanzen durch Strahlung erleiden.

Culturstellen, welche von höherem Anwuchse umgeben sind, werden besonders häufig von den Früh- und Spätfrösten heimgesucht, namentlich dann, wenn der Boden frisch oder gar feucht ist. Hier ist es wieder der Mangel an Luftzug, welcher das Eintreten des Frostes begünstigt. Stellt man eine Bewegung der Luft dadurch her, daß man den höheren Anwuchs, welcher den Culturort umschließt, hie und da lichtet oder abtreibt, so bleiben die Fröste aus.

Hohes dichtes Gras, Haide und sonstige Unkräuter hemmen den Luftzug, weßhalb die Pflanzen zwischen ihnen leichter erfrieren, als

selbst auf ganz nacktem Boden. Deßwegen wendet man als Mittel gegen den Frostschaden bei jungen Culturen mit Vortheil das Abmähen, Absicheln, Abschneiden oder Rupfen des Grases ꝛc. an; die Haide braucht man nicht ganz zu entfernen, es genügt, wenn sie nur so licht durchrupft wird, daß der Wind durch sie hinstreichen kann; die stehenbleibende Haide nützt dann noch den angebauten Holzpflanzen, indem sie die von diesen ausgestrahlte Wärme aufhält und wieder zurückgibt.

ε. Holzart und Holzalter.

Es ist nicht möglich, die Holzarten nach ihrer Empfindlichkeit gegen den Frost in eine Reihe zu bringen, ohne dabei Rücksicht auf das Holzalter und den Entwicklungszustand derselben zu nehmen.

Außer der Saftzeit halten strenge Kälte am besten aus: Zürbelkiefer, Krummholzkiefer, Gemeine Kiefer, Lärche, Birke, Pappel, Alnus viridis, incana und glutinosa, Fichte, Weißtanne, kleinblättrige Linde, die Ahorne, die Elzbeere; weniger gut: die Eiche, Buche, Hainbuche, Rüster, Esche, großblättrige Linde, Roßkastanie, falsche Acacie, die veredelten Obstarten, die Wallnuß und zahme Kastanie.

Von den vorgenannten Nadelhölzern scheint, in so weit es die ausgewachsenen Bäume betrifft, die Weißtanne am wenigsten starke Kälte ertragen zu können. So gingen in dem strengen Winter von $17^{88}/_{89}$, als die Kälte auf 31 Centesimalgrade stieg, im Schwarzwald nur Weißtannen ein, unter diesen aber sehr starke Bäume. In den Waldungen des Klosters Hirsau an der Nagold erfroren allein 46 Sägetannen, 54 gemeine 60er, 138 gemeine 50er ꝛc.

Im Jahre 1829 wurde in hiesiger Gegend die Beobachtung gemacht, daß bei der damaligen starken und lange anhaltenden Kälte alte Buchbäume nur auf nassen Standorten erfroren, wahrscheinlich deßhalb, weil die Zellen des Holzes daselbst mehr mit Saft erfüllt waren; wenigstens kann man diese Erscheinung nicht der Verdunstungskälte (von welcher unten die Rede sein wird) zuschreiben, weil der Boden schon lange vorher, ehe die hohe Kälte eintrat, gefroren war.

Niederwaldstöcke, welche im Herbst gehauen worden sind, gehen mitunter bei strenger Kälte auch im Winter ein, während die unverstümmelten Pflanzen denselben überstehen. Dazu kommt noch, daß das Regen- und Schneewasser, welches von der Abhiebsfläche aus zwischen Holz und Rinde eindringt, wenn es gefriert, die Rinde vom Schafte ablöſt.

Junge Pflanzen sind gegen den Frost weit empfindlicher, als ältere.

Dem Verf. ist kein Beispiel bekannt, daß alte Fichten erfroren wären; aber erst am 25. April des verflossenen Jahres gingen ihm mehrere hundert sechsjährige Fichten durch den Frost zu Grunde, obgleich dieselben noch nicht

getrieben hatten. Ueberhaupt gibt es wohl keine Holzart, welche nicht in der Jugend, und namentlich dann, wenn das Leben des neuen Vegetationsjahres sich wieder in ihr zu regen beginnt, vor Frostschaden sicher wäre. Es herrscht mitunter noch die Ansicht, daß die Kiefer und die Lärche nicht erfrieren könnten; der Verf. kann aber versichern, daß er schon öfter diese Holzarten in jugendlichem Alter erfroren gefunden hat, er sah sogar, daß bei dem Frost vom 25. April v. J. die Nadeln und Triebe von zehnjährigen Kiefern und siebenjährigen Lärchen total vom Froste getödtet worden waren. Erfrorne Lärchennadeln sehen denjenigen ziemlich ähnlich, welche durch den Fraß der Larve von Tinea laricinella ausgehöhlt worden sind, lassen sich aber von diesen durch die mehr gelbe Farbe unterscheiden. Die einzige Holzart, an welcher der Verf. bis jetzt noch keinen Frostschaden zu bemerken Gelegenheit hatte, ist die Weymouthskiefer.

Diejenigen Holzarten, welche als Bäume vom Frost getödtet werden können, leiden meist auch in der Jugend durch dieses Meteor; doch gilt die eben aufgestellte Regel nicht ohne Ausnahme. So ist z. B. die Hainbuche in der Jugend gegen den Frost wenig empfindlich; man kann sie daher auf Blößen ohne schützendes Oberholz recht gut anziehen. Buche und Eiche, Tanne und Fichte werden in der Jugend am häufigsten vom Frost heimgesucht. Kehrt dieser alljährlich, oder doch oft wieder, und erfrieren die Endtriebe des Schaftes und der Zweige, so erhält die Pflanze nach und nach ein buschähnliches Ansehen, wie wenn sie vom Wild oder Waidvieh verbissen worden wäre. Das Höhenwachsthum steht dann oft viele Jahre stille, und die Eiche geht dabei oft zu Grunde, wenigstens entwickelt sie sich selten zu einem schönen Stamm, wenn sie längere Zeit vom Frost gelitten hat, während die Buche und namentlich die Fichte und Weißtanne meist sich wieder vollständig erholen, sobald sie nicht mehr vom Froste berührt werden. Die Umstände, unter welchen letzteres geschieht, werden wir später kennen lernen.

Die Baumblüthen sind gegen den Frost empfindlich, sie leiden von demselben bei Temperaturen, welche den Blättern noch keinen Schaden bringen. Daher kommt es, daß das Obst selbst da verhältnißmäßig so selten geräth, wo die Bäume alljährlich eine Fülle von Blüthen produziren.

ζ. Bestandsschluß.

Bäume, welche plötzlich aus dem Schlusse in den freien Stand gebracht werden, erfrieren bei geringeren Kältegraden, als solche, welche an den freien Stand gewöhnt sind. Das ist der Grund, warum die Laſtreitel, welche man beim Mittelwaldbetrieb überhält, leichter der Kälte unterliegen, als die viel jüngeren (aber verholzten) Lohden auf den nämlichen Standorten. Man soll daher auf Froststellen die Durchforstungen und Auslichtungen lieber schwach greifen, aber dieselben öfters wiederholen — eine Regel, welche auch in vielen andern Beziehungen Beachtung verdient. Indessen bezieht sich das so eben

über den Frost Gesagte mehr auf die zärtlichen, fremdländischen Holzarten (zahme Kastanie, Wallnuß, falsche Acacie); unsere einheimischen Bäume erfrieren, wie vorhin bemerkt wurde, wenn sie einmal erwachsen sind, nur bei ungewöhnlich hohen Kältegraden.

Junge Pflanzen dagegen, welche unter dem Schutze eines Oberstandes erzogen und dann in's Freie gebracht wurden, leiden häufig durch Fröste Noth. Solche Pflanzen soll man daher nicht zur Cultivirung von Froststellen verwenden.

Wie wir oben ausgeführt haben, liegt eine Haupt-Ursache für das Erfrieren in der nächtlichen Wärmeausstrahlung, zu welcher die grünen Theile der Vegetabilien vorzüglich disponirt sind. Da sich diese Eigenschaft der Pflanzen nun einmal nicht beseitigen läßt, so handelt es sich darum, ihnen die verlorene Wärme wieder zu geben. Da, wo die Verjüngung eines Bestandes durch den Samen erfolgt, welcher von den stehenbleibenden Bäumen abfällt, lassen sich die jungen Pflanzen durch die Mutterbäume selbst vor dem Frost schützen. Die Kronen dieser Stämme strahlen nämlich die Wärme zurück, welche von dem jungen Anwuchs ausgegeben wird. In welchem Maße die Oberständer die Abkühlung der unter ihrem Schutze befindlichen Pflanzen verhüten können, läßt sich aus dem folgenden Versuche von Wells entnehmen. Wells befestigte in den Boden eines Grasplatzes vier kleine Stäbe von 16 Centimetern Höhe und zog über die Spitze derselben, welche die Eckpunkte eines Vierecks bildeten, ein dünnes Tuch, dessen Seiten 6 Decimeter lang waren, straff an. Er untersuchte nun viele Nächte nach einander die Temperatur des solchergestalt beschirmten Grases und fand dieselbe allemal höher, als die des nahen unbedeckten Grases, wenn dieses kälter, als die Luft war. So war in einer Nacht, während das ganz freiliegende Gras 11° kälter, als die Luft war, diese nur um 3° wärmer, als das bedeckte Gras; derselbe Unterschied fand in einer andern Nacht statt, als die Luft 14° wärmer, als das freistehende Gras war. Die dünne Hülle des Tuchs sicherte also dem Grase das einemal eine um 8°, das anderemal eine um 11° höhere Temperatur. — Aber selbst dann, wenn der schützende Gegenstand nicht parallel mit dem Boden, sondern perpendicular von diesem aus angebracht ist, strahlt er noch hinreichend genug Wärme zurück, um sowohl den Boden, als auch die auf ihm befindlichen kleinen Gewächse auf einer höheren Temperatur zu erhalten. Als Wells das vorhin beschriebene Tuch senkrecht auf eine Grasfläche ausspannte, fand er die Wärme des Grases an der untern Kante des Tuches 4° und selbst 6° höher, als diejenige des in einiger Entfernung davon befindlichen ungeschützten Grases.

Beachten wir die Resultate dieser Versuche, so können wir aus denselben die Regel ableiten, daß man an Orten, wo Fröste zu befürchten sind, den Besamungs- und Abtriebsschlag so dunkel zu halten und den Abtrieb der Mutterbäume so lange hinauszuschieben habe, als es das Lichtbedürfniß der

jungen Pflanze nur irgend erträgt. Nach dieser Regel wird in der That an vielen Orten schon seit langer Zeit gewirthschaftet; im Vogelsgebirge, wo der Boden aus einem zähen Lehm mit großer wasserhaltender Kraft besteht, auf dem häufig Fröste vorkommen, hat man die Verjüngungsdauer der Buchenhochwaldungen auf 20 — 30 Jahre festgesetzt; im Rodhaargebirge, wo der Untergrund von Kieselschiefer gebildet wird, welcher der Feuchtigkeit schnellen Abzug gestattet, treibt man oft schon mit 3 — 5 Jahren ab, nachdem die Verjüngung angeschlagen ist.

Soll eine gegen die Fröste empfindliche Holzart, z. B. die Buche, Weißtanne oder Fichte, auf einer Blöße cultivirt werden, welche den Frösten exponirt ist, so baue man zuvor eine andere Holzart an, welche vom Froste weniger zu leiden hat (Kiefer, Lärche, Birke, Weymouthskiefer 2c.). Nachdem der Schutzbestand auf $1^1/_2$—2 Meter Höhe herangewachsen ist, wird die Hauptholzart mittelst Saat oder Pflanzung beigemischt. Ist sie nun so weit erwachsen, daß sie von dem Froste nicht mehr getroffen wird, so haue man den Schutzbestand nach und nach entweder ganz aus, oder man lasse so viele Stämme stehen, als deren zur Bildung eines regelmäßigen Mischbestandes erforderlich sind. Hierbei kommt es natürlich darauf an, ob die vorangebaute Holzart mit der später angezogenen sich verträgt. Dies ist z. B. zwischen Birken und Fichten nicht der Fall, während die Birke und die Buche recht gut mit einander fortkommen, vorausgesetzt, daß die Birke nicht zu reichlich beigemischt sei.

η. Beschaffenheit des Bodens.

Es gibt gewisse Localitäten, welche ganz besonders zu Frösten geneigt sind, auf denen diese fast alljährlich wiederkehren. Es sind dies gewöhnlich feuchte Stellen, wo das Wasser in Folge einer tiefern Lage des Bodens sich ansammelt und wo zugleich der nöthige Luftzug mangelt, um die Feuchtigkeit rasch zu entfernen. Solche Froststellen sind vorzüglich Flußniederungen, Thäler und Mulden. Der Frost wird hier durch den Wärmeverlust erzeugt, welcher sich beim Verdunsten der Bodenfeuchtigkeit ergibt.

Verdunstungskälte in feuchten Lagen. Wenn das Wasser aus dem flüssigen Zustand in den dampfförmigen übergeht, so dehnt es sich bekanntlich aus, der Dampf nimmt einen größeren Raum ein, als das Wasser, aus welchem er sich gebildet hat. Die Volumsvermehrung wird bewirkt durch Aufnahme von Wärme, welche die Atome des Wassers von einander entfernt. Diese Wärme kann durch das Thermometer unmittelbar nicht wahrgenommen werden, sie ist latent, eben weil sie dazu dient, damit die Theilchen des Dampfes sich nicht wieder nähern und Wasser bilden. Um 1 Kilogramm Wasser von 100° in Dampf von der nämlichen Temperatur zu verwandeln, bedarf man eben so viel Wärme, als um 1 Kilogramm Wasser von 0° auf die Temperatur von 536° zu bringen. Das Wasser verdunstet auch bei Temperaturen, welche unter dem Siedpunct liegen, die latente Wärme des Dampfes

ist aber in diesem Falle größer, als 536°, z. B. für Wasser von 0° beträgt sie 606°. Hiernach läßt sich die latente Wärme des Dampfes für die Temperaturen zwischen 0° und der Siedhitze durch Interpolation finden. So ist z. B. die latente Wärme des Dampfes, welcher sich aus Wasser von 3° erhebt, 604 (genauer 603,9), das sagt also, daß man mit der Wärme, welche die Gewichtseinheit Wasser von der Temperatur 3° in Dampf von der nämlichen Temperatur verwandelt, dem gleichen Gewicht Wasser die Temperatur $604 + 3 = 607$ ertheilen könnte (S. S. 181).

Ist die Luft über einer Wasserfläche mit Feuchtigkeit nicht gesättigt, so verdunstet so viel Wasser, bis der Sättigungspunct eingetreten ist. Die Wärme, welche die Dampfbildung erfordert, wird in diesem Falle theils aus der umgebenden Luft, noch mehr aber aus dem Wasser selbst genommen, von welchem die Verdunstung ausgeht. Dies hat zur Folge, daß die Temperatur des zurückbleibenden Wassers sinkt.

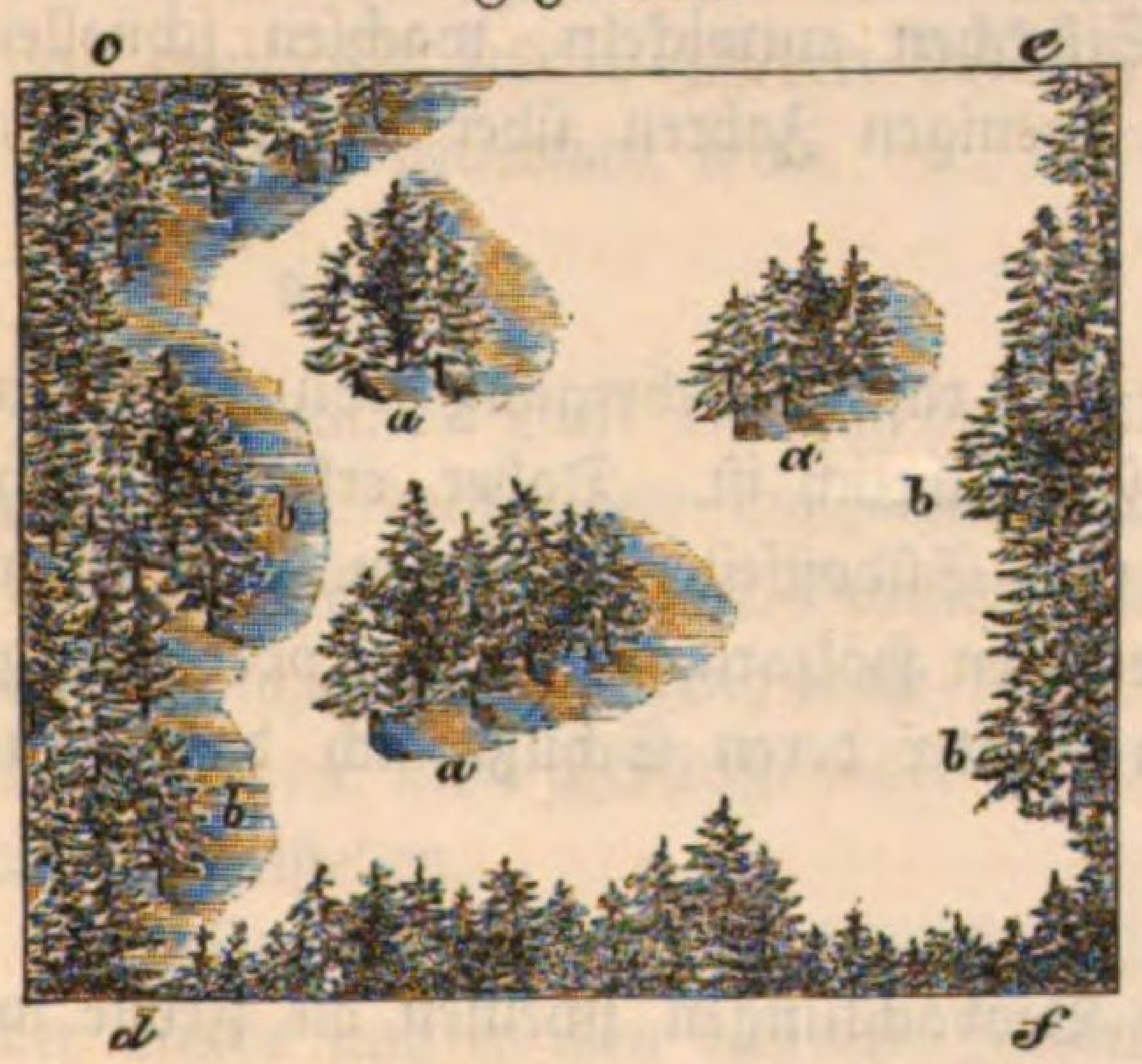
Nehmen wir beispielsweise an, eine Wasserfläche besitze die Temperatur von 3°, und es verdunste von diesem Wasser in einem gegebenen Zeitraum eine Schichte von 1 Millimeter Höhe, so sind zur Bildung des Dampfes 604 Wärmeeinheiten erforderlich. Diese können aus einer gleich großen Wasserfläche von 604 Millimetern Tiefe genommen werden, wenn deren Temperatur um 1°, oder von $\frac{604}{3} = 201$ Millimetern, wenn deren Temperatur um 3° sich erniedrigt. Die Verdunstungskälte von 3° würde sich also 201 Millimeter oder ungefähr 2 Decimeter tief fortpflanzen. Allein der Boden, auf welchem unsere Waldbäume cultivirt werden können, ist selten mit einer so hohen Wasserschichte bedeckt; wenn auch an der Oberfläche des Bodens blos Wasser sichtbar ist, so fängt doch bald unter dem Spiegel desselben die feste Erdkrume an, und das Wasser ist jetzt nur in deren Zwischenräumen enthalten. Es wird daher ein Theil der zur Verdunstung nöthigen Wärme dem Boden selbst entzogen werden. Die specifische Wärme des letztern ist aber ungefähr fünfmal geringer, als diejenige des Wassers, d. h. wenn die Temperatur von z. B. 1 Kilogramm Wasser, um eine gewisse Wärmemenge abzugeben, um 1° sinkt, so erniedrigt sich die Temperatur eines gleichen Gewichts Erde unter den nämlichen Verhältnissen um 5 Grade. Da nun das specifische Gewicht der meisten Erden $= 2,5$ ist, so würde sich die Verdunstungskälte im Boden $\frac{5}{2,5} = 2$ mal so tief fortpflanzen, als im Wasser.

Aus dem vorstehenden Beispiel dürfte wohl mit Bestimmtheit entnommen werden können, daß durch die Verdunstung nasser Stellen örtlich ein wirklicher Frost zu entstehen vermag. Es wird nämlich die Luft, welche mit dem nassen Boden in Berührung ist, abgekühlt. Hiernach erklärt es sich leicht, warum in feuchten Flußniederungen, in Mulden und Klingen, in Thälern, welche wenig Gefäll besitzen, warum auf schwerem oder un-

durchlassendem Boden, welcher die Feuchtigkeit lange hält, die Fröste eine so häufig eintretende Erscheinung sind.

Noch schädlicher werden diese durch die Verdunstungskälte hervorgerufenen Fröste dann, wenn die Froststelle durch Erhöhungen des Bodens oder durch Holzbestände, welche sie begrenzen, vor dem Luftzug geschützt ist. Die Luft, welche die Frostlocalität umgibt, ist nämlich immer wärmer, als die über dem nassen Boden ruhende Schichte der Atmosphäre; kann nun der Wind ungehindert über die Froststelle hinstreichen, so wird er die kalte Luft daselbst verdrängen und durch wärmere aus der Umgebung ersetzen. Daher besteht neben dem Ableiten der Bodennässe das Hauptmittel zur Beseitigung der Fröste an den genannten Localitäten darin, daß man, z. B. durch Abholzen eines Waldstreifens, etwa in Schneißenbreite, einen gehörigen Luftzug herstellt, überhaupt alles dasjenige entfernt, was der Luftbewegung im Wege steht, dahin sind u. A. zu rechnen: einzelne Büsche und Horste (a Fig. 163), sowie in die Froststelle hineinragende Zungen (b) von dem angrenzenden, mit höherem Holze bestockten, Bestande.

Fig. 163.



Alle diese Hindernisse müssen hinweggeräumt werden; die Büsche (a) und Zungen (b) treibt man ab, letztere z. B. nach zwei Linien, die man sich von c nach d und von e nach f gezogen denken kann. Auch an dem unteren Rande ließen sich noch einige Zungen wegnehmen. Ferner ist es nützlich, die Ränder der angrenzenden Bestände und auch wohl diese selbst durch ihre ganze Ausdehnung hin zu entasten. Diese Maßregel ist namentlich dann von Erfolg, wenn jene Bestände aus Fichten oder Weißtannen bestehen, bei welchen die Aeste bis tief am Stamme herab sitzen zu bleiben pflegen *).

Höhe, bis zu welcher die Verdunstungskälte sich erstreckt. Die Kälte, welche durch die Verdunstung der Bodenfeuchtigkeit erzeugt wird, theilt sich, wie vorhin bemerkt wurde, der über der nassen Fläche ruhenden Luft mit und stimmt auch deren Temperatur herab. Da aber die Fort-

*) In der von dem Verf. administrirten Oberförsterei befindet sich eine Districtsabtheilung „Ziegenacker" genannt, an deren einem Ende eine Blöße liegt, auf welcher schon seit langer Zeit alljährlich versucht wurde, Fichten zu cultiviren, die allein für den flachgründigen Boden dieser Localität passen. Aber die Fichten gingen stets durch Frost zu Grunde. Diese Blöße war mit allen den Mißständen behaftet, welche in Fig 163 abgebildet sind. Nachdem der Verf. durch Anwendung der eben empfohlenen Manipulationen für die Herstellung des Luftzugs gesorgt hatte, brachte der Frost keinen Schaden mehr.

pflanzung der Kälte (wenn man diesen Ausdruck gebrauchen darf) weniger durch Strahlung, als durch Leitung erfolgt, so erstreckt sich die Temperaturerniedrigung gewöhnlich nur auf eine Höhe von 1—2 Metern über dem Boden. Die Pflanzen erfrieren daher auf solchen nassen Stellen nur so lange, als sich ihre Gipfel und Triebe noch innerhalb der Frostregion, wie wir sie nennen möchten, befinden. Haben sie dieselbe einmal zurückgelegt, so entwickeln sie, wenn der Boden kräftig ist, oft ein vortreffliches Wachsthum. Es liegt daher sehr viel daran, daß die Pflanzen bald aus dem Bereiche der Frostregion kommen. Darauf läßt sich hinwirken durch die Wahl von kräftigen und größeren Pflanzen (Saat ist an solchen Stellen ganz unzweckmäßig), die man, um das Anschlagen zu sichern, und um eine Unterbrechung des Höhewachsthums zu vermeiden, mit nicht zu schwachen Ballen einzusetzen hat. Bei den Laubholzpflanzen kommt es häufig vor, daß sie durch öftere Frostbeschädigung zu sogenannten Kollerbüschen verunstaltet werden; hier läßt sich das Höhenwachsthum in der Weise herstellen, daß man solche Pflanzen dicht über dem Boden abschneidet oder mit scharfen Hacken abschürft; die Lohden, welche sich aus dem zurückbleibenden Stöckchen entwickeln, wachsen schneller, als die Kernpflanzen und sind oft in wenigen Jahren über die Frostregion hinaus.

ϑ. Exposition.

Oben wurde schon bemerkt, daß ein rascher Uebergang von der Kälte zur Wärme den Pflanzen vorzugsweise gefährlich ist. Daher erklärt es sich, warum die Fröste so oft auf den Ost- und Südostseiten auftreten. An solchen Expositionen sollte man daher keine zärtlichen Holzarten anziehen, oder wenigstens vorher eine dauerhaftere anbauen, unter deren Schutze sich dann jene cultiviren läßt.

ι. Meereshöhe.

Nach den bis jetzt vorliegenden Beobachtungen scheinen die Fröste im Hochgebirge eben so häufig, wenn nicht noch häufiger aufzutreten, als in der Ebene, namentlich kommen die Frühfröste oft vor weil der Uebergang von Sommer zum Winter in den Hochlagen durch einen viel kürzeren Herbst vermittelt wird. Der Frost beschädigt hier die jungen Triebe, ehe sie vollständig verholzt sind.

Hochebenen leiden mehr von Frösten, als Ebenen, welche mit jenen gleiche Jahrestemperatur besitzen. Wie wir früher gesehen haben, genießen Plateau's im Verhältniß zu ihrer Erhebung über die Meeresfläche deßwegen eine höhere Temperatur, weil die Luft hier mit einer großen Bodenoberfläche, von welcher die durch die Sonnenstrahlen bewirkte Erwärmung ausgeht, in Berührung ist. Diese höhere Temperatur veranlaßt ein frühes Austreiben der Pflanzen. Allein des Nachts ist die Wärmeausstrahlung auf Hochebenen viel bedeutender, als in den Tieflagen, weil die Luft über jenen dünner ist, also dem Durchgange der Wärmestrahlen weniger Hindernisse bietet. Auf der Hochebene von Cara-

marca in Peru, welche bei einer Meereshöhe von 1660 Metern eine mittlere Jahreswärme von 16° besitzt, erfriert der Waizen sehr häufig des Nachts. Humboldt sah hier bei Tage im Schatten das Thermometer auf 25° steigen, während es vor Sonnenaufgang nur 8° gezeigt hatte. Man sieht hieraus, welche bedeutende Temperaturdifferenzen auf Hochebenen vorkommen.

c. Eintheilung der Fröste nach der Größe ihres Verbreitungsbezirks.

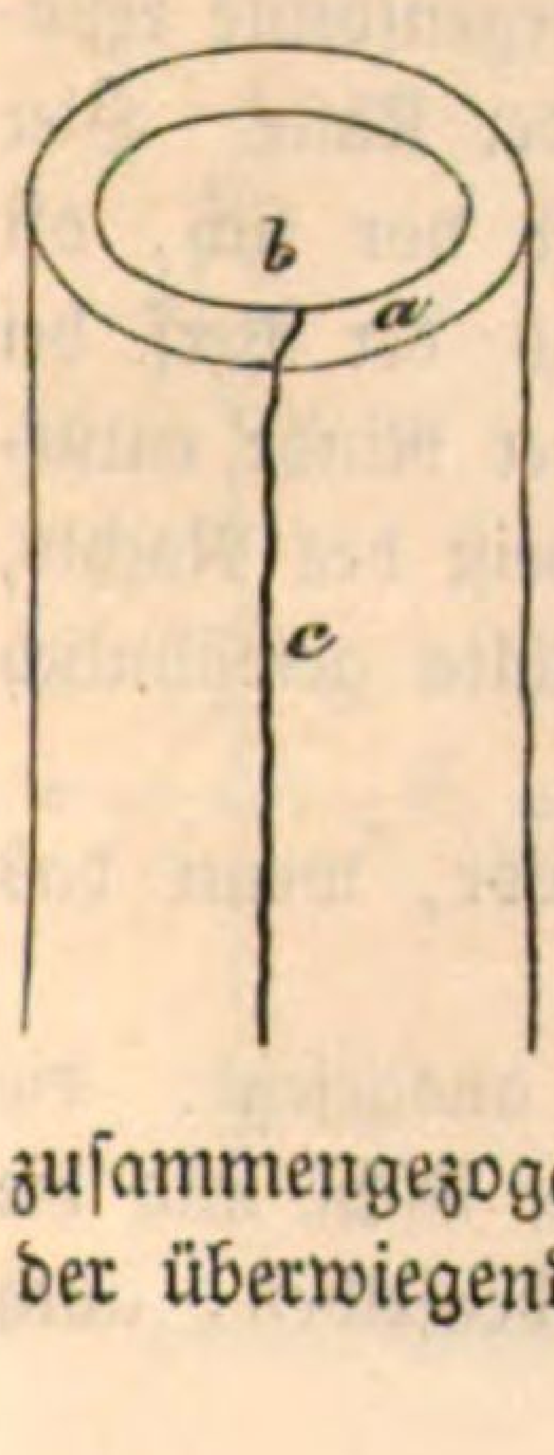
Der Frost erstreckt sich entweder über größere Länderstriche (Landfrost), oder über kleinere Flächen (Localfrost). Die Landfröste entstehen meist dann, wenn nach vorangegangener warmer Witterung, welche das vegetative Leben erweckt hat, durch Umspringen des Windes oder durch Oeffnen des vorher bedeckten Himmels plötzlich eine Erniedrigung der Temperatur eintritt. Die Localfröste dagegen, welche ganz bestimmte Stellen einhalten, auf denen sie fast alljährlich wiederkehren, sind entweder auf die östlichen und südöstlichen Expositionen, wo ein rascher Wechsel der Temperatur stattfindet, oder auf feuchte Niederungen, Thäler und Mulden beschränkt, wo kein Luftzug herrscht, und, wie wir früher gesehen haben, durch Verdunsten der Bodenfeuchtigkeit viel Wärme gebunden wird.

d. Frostrisse.

Es wurde oben der Satz aufgestellt, daß strenge Winterkälte älteren Exemplaren von denjenigen Holzarten, welche in unsern Gegenden heimisch sind, oder aus höheren Breiten stammen, selten tödtlich wird. Dagegen bewirkt sie bei manchen Baumarten, daß dieselben parallel mit der Schaftaxe Sprünge erhalten, die man Frostrisse oder Eisklüfte nennt. Diese können in zweifacher Weise entstehen.

Wenn strenge Kälte plötzlich eintritt, so gefriert zuerst die Feuchtigkeit in der Rinde und in den äußeren Jahrringen (a, Fig. 164) des Stammes. Das Eis, welches sich bildet, nimmt nun zwar einen größeren Raum ein, als das Wasser, aus welchem es entstanden ist, allein es zieht sich, wenn die Kälte unter 0° sinkt, fortwährend zusammen, gerade ebenso, wie die feste Substanz der Holzfaser. Die Rinde und die äußeren Lagen der Jahresringe (a) werden daher einen Druck gegen die inneren Holzlagen ausüben. Dringt nun die Kälte noch weiter in den Baum ein, so gefriert auch die Feuchtigkeit in der übrigen Holzmasse, das Eis dehnt sich um das 1,0525fache des Volumens von demjenigen des Wassers aus und äußert einen Druck gegen die bereits gefrornen Jahrringe und gegen die Rinde. Da diese aber nicht nachgeben können, weil sie selbst zusammengezogen werden, so tritt, wenn der Druck von innen nach außen der überwiegende ist, ein Riß (c) ein; die Längsgefäße und Zellen des Holzes

Fig. 164.



verlieren ihren (ohnedies schwachen) seitlichen Zusammenhang, sowie denjenigen mit den Markstrahlen, und bersten von einander.

Man sieht, daß zu der Entstehung dieser Art von Frostrissen eine plötzliche Erniedrigung der Temperatur erforderlich ist; dringt die Kälte allmählig in den Baum ein, so lassen sich die noch nicht starr gewordenen inneren Holzlagen noch zusammenpressen. In schwachen Stämmen folgen alle Jahrringe schnell und gleichmäßig dem Wechsel der Temperatur, hier kommt nicht gleichzeitig eine Zusammenziehung nach innen und eine Ausdehnung nach außen hin vor, deßwegen finden sich die Frostrisse nur an stärkeren Stämmen.

Gesetzt, der Zusammenhang des Holzes in den äußeren Jahrringen und der Rinde sei stark genug gewesen, um bei plötzlichem Gefrieren der innern Jahrringe deren Druck zu widerstehen, so wird der letztere nichts destoweniger fortdauern; die äußern Jahrringe und die Rinde werden das Bestreben, sich zusammenzuziehen, bewahren, und die innern Holzlagen werden, da ihr Eisgehalt immer noch einen größern Raum, als das Wasser einnimmt und sie durch die äußern Lagen wenigstens einigermaßen zusammengepreßt worden sind, sich auszudehnen suchen, wenn schon das Volumen des Eises bei Temperaturen unter 0° kleiner ist, als im Moment des Gefrierens. Sobald nun der Zusammenhang der äußeren Lagen an irgend einer Stelle hinreichend vermindert wird, so bewirkt die Zusammenziehung dieser Lagen und das Ausdehnungsbestreben der innern Jahrringe, daß ein Riß entsteht. Dieser Fall tritt z. B. dann ein, wenn die eine Seite des Schaftes plötzlich, etwa von den Strahlen der Morgensonne, erwärmt wird, es entsteht alsdann an der beschienenen Seite ein Frostriß. Findet die Erwärmung allmählig statt, so verlieren die äußeren Lagen (Rinde und Holz) gleichzeitig in ihrem ganzen Umfange das Bestreben, sich zusammenzuziehen, damit fällt aber auch die Veranlassung zur Bildung eines Frostrisses weg.

Aus dem Vorstehenden läßt sich entnehmen, warum die Frostrisse so häufig auf Südostseiten und an freistehenden Stämmen, vorkommen. Frostrisse an Bäumen in geschlossenen Beständen, welche nicht der Morgensonne exponirt sind, sind immer nur die Folge von plötzlich eintretender Kälte. Hier geht aber das Springen des Holzes mit viel größerer Gewalt vor sich, oft läßt sich ein Knall, ähnlich einem Pistolenschuß, hören, was der Verf. bei denjenigen Frostrissen, welche durch stellenweises Aufthauen der Rinde entstehen, niemals wahrnehmen konnte. Das Knallen erfolgt meist des Nachts, vorzüglich kurz vor Sonnenaufgang, zu welcher Zeit die Kälte gewöhnlich ihren höchsten Grad erreicht.

Die Frostrisse kommen überhaupt meist im Nachwinter vor, wenn das Holz schon anfängt, sich mit Saft zu füllen.

Der Beschädigung durch Frostrisse sind vorzugsweise ausgesetzt: die Eiche und Buche, dann die Tanne und Fichte, weniger die Ulme, Esche und die Ahorne, sowie die Kiefer. Birken leiden wohl gar nicht von denselben, auch

bei Pappeln kommen sie äußerst selten vor, wiewohl sie von dem Verf. einige Male bei Pop. italica beobachtet worden sind. Von den beiden Eichenarten ist Quercus Robur mehr zu Frostrissen geneigt, als Q. pedunculata, was wohl auf der größern Spaltigkeit der ersteren beruht. Stämme, welche plötzlich aus dem Schlusse in eine freie Stellung gebracht worden sind, werden vorzugsweise von Frostrissen betroffen, wahrscheinlich deßhalb, weil bei solchen Bäumen die Rinde dünner und zärter ist. Von Jugend auf frei erzogene Stämme haben schon wegen ihrer verhältnißmäßig geringeren Spaltigkeit die Frostrisse weniger zu fürchten.

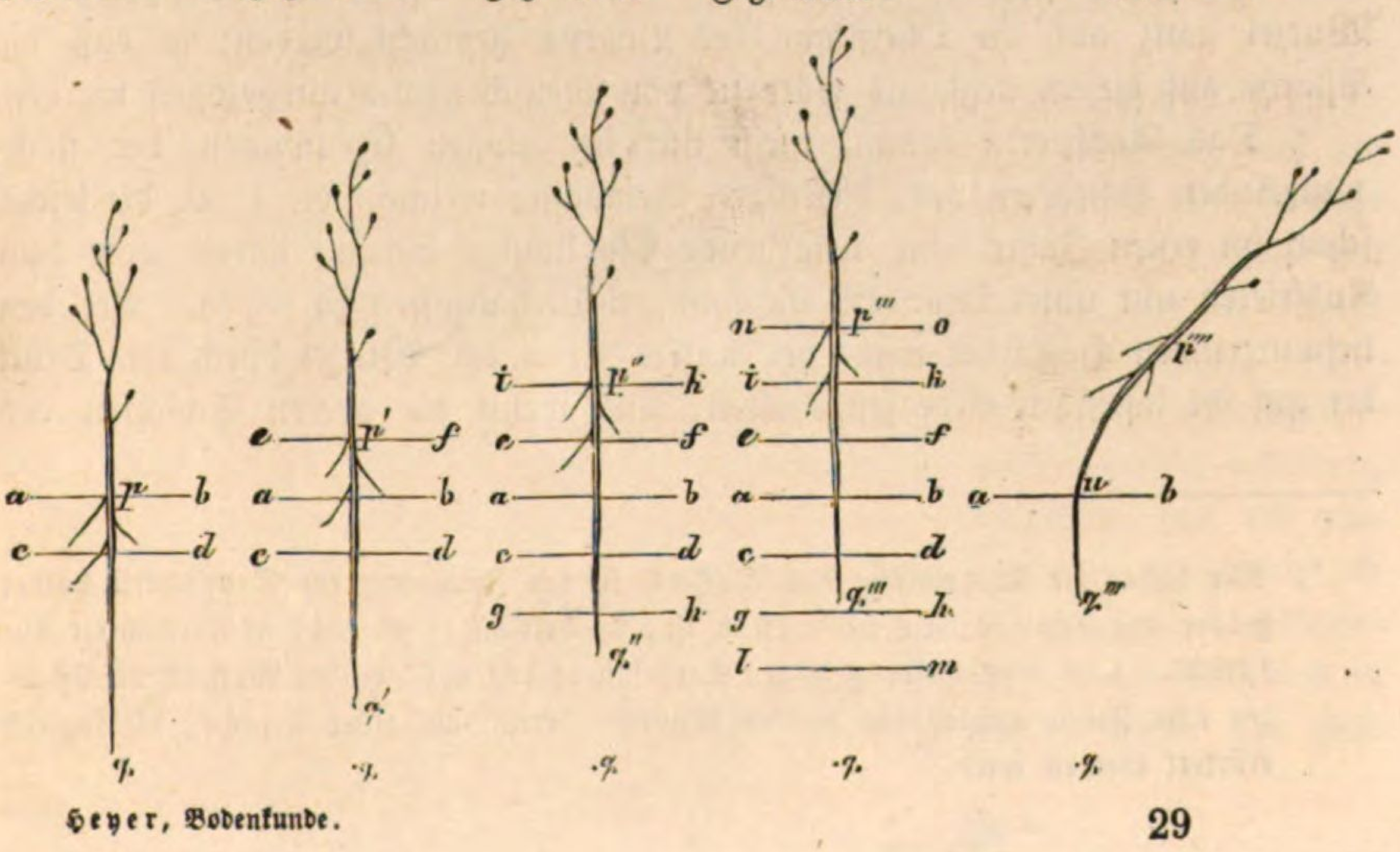
Zu den Schutzmaßregeln gegen die Frostrisse gehören: dichte Stellung der Bestände, namentlich an Südostseiten, Einsprengen der wintergrünen Nadelhölzer in die Laubholzbestände, Erziehung der stärkeren Holzsortimente in geschlossenen Beständen mit höheren Umtriebszeiten (aber mit späterer Beimischung einer schattenertragenden Holzart), anstatt des vereinzelten Ueberhaltens von Stämmen für die Dauer einer zweiten Umtriebszeit.

e. Ausfrieren der Pflanzen.

An feuchten Stellen und auf lockerem Boden gewahrt man oft, daß junge Pflänzchen, namentlich von flachwurzelnden Holzarten, nachdem das Erdreich gefroren und plötzlich wieder aufgethaut war, mit ganz oder theilweise ausgezogenen Wurzeln auf dem Boden liegen. Man nennt diese Erscheinung das Ausfrieren der Pflanzen. Sie beruht auf folgenden Umständen.

Wenn plötzliche Kälte eintritt, so daß nicht sämmtliche Erde, welche sich um die Wurzeln der Pflanze befindet, sondern nur die zunächst an die Oberfläche des Bodens grenzende Schichte a b d c (Fig. 165) gefriert, so

Fig. 165. Fig. 166. Fig. 167. Fig. 168. Fig. 169.



wird letztere, wenn sie mit Wasser getränkt ist, ein größeres Volumen c d f e, Fig. 166, einnehmen, also die Linie a b in das Niveau e f kommen *). Ist nun die Erde in der Schichte abdc an das Pflänzchen festgefroren, dagegen die unter der Linie cd befindliche Erde noch weich, so hebt sich das Pflänzchen mit der gefrierenden Schichte c d f e; damit dies aber möglich sei, muß der untere Theil der Wurzel aus der noch nicht gefrorenen Erde eine Strecke lang (= dem Betrag von q'q = ae) ausgezogen werden. Friert nun neuerdings noch die Erdschichte c d h g, (Fig. 167.) so dehnt sie sich aus, und hebt die bereits gefrorne Schichte; das Volumen der gesammten gefrornen Erdmasse beträgt daher g h k i, und die Wurzel des Pflänzchens wird abermals um eine Größe q''q = ie ausgezogen. Nachdem auch noch die Schichte g h m l (Fig. 168.) gefroren und mit dieser die gesammte Erdmasse auf das Volum l m o n gebracht worden ist, befindet sich der Punct p, wo die Wurzel und der oberirdische Theil des Stammes sich scheiden, in p'''; es ist also die Wurzel qq im Ganzen um den Betrag q'''q aus dem Boden gezogen worden.

Thaut nun der Boden blos oben auf, während er bei q''' noch mit der Wurzel verbunden bleibt, so sinkt die gehobene Erde wieder auf ihr früheres Niveau zusammen, d. h. die Linie n o kommt auf die Linie a b zurück. Es ragt also der Theil p''' u (Fig. 169.) der Wurzel über den Boden heraus. Die Pflanze legt sich dann gewöhnlich um, weil p''' u ein Theil der biegsameren Wurzel ist.

Die Wurzel kann niemals in ihre frühere Lage (q) zurückkommen, auch wenn der Boden auf einmal bis zu seiner ganzen Tiefe aufthaut, weil der untere Theil der Wurzel nicht genug Steifigkeit besitzt, um in die Erde einzudringen.

Wiederholt sich der Vorgang des Ausfrierens öfter, so kann zuletzt die Wurzel ganz auf die Oberfläche des Bodens gebracht werden, so daß die Pflanze auf diesem liegt, als wäre sie von Menschenhand ausgezogen worden.

Das Ausfrieren kommt meist nur bei jungen Exemplaren der flachwurzelnden Holzarten vor; diejenigen Gewächse, welche, wie z. B. die Eiche, schon im ersten Jahre eine tiefgehende Pfahlwurzel bilden, haben von dem Ausfrieren nur unter besonders ungünstigen Verhältnissen zu leiden. Bei den tiefwurzelnden Holzarten wird der untere Theil der Wurzel durch den Druck der auf ihr lastenden Erde festgehalten, und wenn die oberen Schichten des

---

*) Wir haben die Ausdehnung des Wassers in der Zeichnung der Deutlichkeit halber größer angenommen, als sie wirklich ist; sie beträgt (s. S. 51) in Wirklichkeit nur 1,0526. Daß trotz dieser geringen Ausdehnung des gefrierenden Wassers die Pflanzen vom Froste ausgehoben werden können, beruht auf einer Ursache, die sogleich erörtert werden wird.

Bodens gefrieren und sich heben, so reißen sie sich eher von der Wurzel los, als daß diese ihnen folgte. Daß auf kräftigem Boden, der eine rasche Entwicklung des Wurzelsystems von vorn herein begünstigt, auch die flachwurzelnden Holzarten von dem Ausfrieren verschont bleiben können, bedarf keiner weiteren Ausführung.

Die Beschaffenheit des Bodens bestimmt die Möglichkeit des Ausfrierens noch in anderer Beziehung. Am häufigsten kommt dasselbe auf leichten oder schwammigen Boden (Sand, Torf= und Moorgrund) vor, weil dieser mehr Feuchtigkeit in sich aufzunehmen vermag, als schweres Erdreich (z. B. Thon), denn das Heben des Bodens beruht ganz allein auf der Ausdehnung, welche das Wasser beim Uebergang aus dem flüssigen Zustand in den starren erleidet; die feste Substanz des Bodens nimmt an dieser Ausdehnung an und für sich keinen Antheil, sie vermindert im Gegentheil ihr Volumen, wenn die Temperatur sinkt.

Uebrigens ist auf leichtem Boden das Ausfrieren der Pflanzen nur dann zu befürchten, wenn er auch wirklich Feuchtigkeit enthält. Ist die Lage des Terrain's von der Art, daß die Feuchtigkeit abziehen kann, so kommt das Ausfrieren nicht vor. Letzteres ist überhaupt mehr auf Thalvertiefungen, Mulden ꝛc. beschränkt.

Getrockneter, unbenarbter Boden ist dem Ausfrieren besonders unterworfen; er nimmt nämlich eine größere Menge Feuchtigkeit in sich auf, und die Wurzeln der Holzpflanzen finden in ihm nicht so viel Halt, wie wenn sie mit den Wurzeln von Gras ꝛc. ꝛc. verschlungen sind.

Das Ausfrieren kommt ganz vorzüglich auf Ost- und Südostseiten vor, weil hier die Möglichkeit eines öfteren Aufthauens und Wiedergefrierens des Bodens gegeben ist. Auf nördlichen Expositionen, wo der Boden nur einmal gefriert, ist das Ausfrieren eine seltene Erscheinung, die nur dann eintritt, wenn das Wetter sich öfters ändert.

Eine Decke von Laub oder Schnee schützt die Pflanzen vortrefflich gegen das Ausfrieren. Beide sind schlechte Wärmeleiter; sie verhindern, daß der Boden stark gefriere, oder öfters aufthaue. In welchem Maße die günstige Wirkung des Schnee's stattfinde, läßt sich aus den folgenden Beobachtungen von Boussingault entnehmen, (aus welchen zugleich hervorgeht, daß der Schnee an und für sich ein sehr großes Wärmeausstrahlungsvermögen besitzt).

Boussingault setzte ein Thermometer auf eine 0,1 Meter dicke Schneelage, welche seit einem Monate ein mit Waizen bestelltes Feld bekleidete, und bedeckte die Kugel des Instrumentes 2 bis 3 Millimeter hoch mit pulverförmigem Schnee. Die Kugel eines andern Thermometers befand sich unter dem Schnee und berührte einseitig den Boden; ein drittes Thermometer war 12 Meter über dem Boden auf der Nordseite eines Gebäudes in freier Luft aufgehängt. An den Tagen der Beobachtung wurde das Feld vollkommen von der Sonne beschienen.

Am 11. Februar 5 Uhr Abends war die Sonne bereits eine halbe Stunde hinter dem Gebirge verschwunden; der Himmel war unbedeckt, die Luft sehr ruhig. Das Thermometer unter dem Schnee zeigte 0°, das auf dem Schnee — 1°,5, das in freier Luft + 2°,5. Die Sonne war kaum hinter die Berge gesunken, als die Ausstrahlung von der Oberfläche des Schnee's wahrnehmbar wurde.

Am 12. Februar war die Nacht sehr schön, der Himmel wolkenlos und die Luft ruhig; um 7 Uhr des Morgens war das Feld noch nicht von der Sonne beschienen. Das Thermometer unter dem Schnee zeigte — 3°,5, das Thermometer auf dem Schnee — 12°, das freie Thermometer — 3°,0.

Um 4½ Uhr Abends sinkt die Sonne hinter die Berge. Das Thermometer unter dem Schnee zeigt 0°,0, das Thermometer auf dem Schnee — 1°,4, das Thermometer in freier Luft + 3°,0.

Am 13. Februar, um 7 Uhr Morgens bedeckter Himmel, Luft etwas bewegt. Thermometer unter dem Schnee — 2°,0, Thermometer auf dem Schnee — 8°,2, freies Thermometer — 3°,8.

Um 5½ Uhr Abends ruhige Luft, unbedeckter Himmel, die Sonne seit einiger Zeit untergegangen. Thermometer unter dem Schnee 0°,0, freies Thermometer + 4°,5.

Am 14. Februar, um 7 Uhr Morgens Westwind mit feinem Regen. Thermometer unter dem Schnee 0°,0, Thermometer auf dem Schnee 0°,0; in der freien Luft + 2°,0.

Aus dem Vorhergehenden lassen sich leicht die Maßnahmen ableiten, nach welchen der Forstmann zu verfahren hat, um das Ausfrieren zu verhüten. Sie bestehen also darin, daß man auf feuchten Stellen mit leichtem Boden keine flachwurzelnden Holzarten cultivire, oder doch, wenn dies nicht zu vermeiden ist, Pflanzung mit stärkeren Setzlingen der Saat vorziehe, daß man den Kahlschlagbetrieb in Verbindung mit Stockroden, wenn thunlich (!) vermeide, daß man gelockerten Boden (z. B. solchen, welcher zur Anzucht von landwirthschaftlichen Gewächsen, namentlich von Hackfrüchten, benutzt worden ist) vor der Saat sich setzen und benarben lasse, daß man vor dem Anbau von flachwurzelnden Holzarten tiefwurzelnde anziehe, damit diese die Strahlen der Sonne von dem Boden abhalten können rc. In der Mehrzahl der Fälle macht aber die Wahl der Pflanzung, anstatt der Saat, alle diese Vorsichtsmaßregeln entbehrlich.

Sechszehntes Buch.

Einfluß der Electricität auf die Waldvegetation.

Der Einfluß, den die Electricität auf die Pflanzen äußern soll, ist von einigen Schriftstellern sehr übertrieben worden. Die Zeit liegt nicht ferne, in welcher man eine große Zahl der Erscheinungen des vegetativen Lebens, von denen keine greifbare Ursache aufzufinden war, der Electricität zuschrieb. Dieses Wort war in der That sehr bequem zu gebrauchen; man hätte aber gewiß aufrichtiger gehandelt, wenn man es lieber weggelassen und ohne Weiteres zugestanden hätte, daß man über die Vorgänge, welche durch die Electricität erklärt werden sollten, noch im Dunkel sei.

Auch die wirklichen Versuche über den Einfluß der Electricität auf die Pflanzen sind mit großer Vorsicht aufzunehmen. Gar oft rühren sie von Solchen her, welche Anhänger der Electricitäts-Theorie waren und den Versuch mit der Absicht anstellten, durch ihn den Beweis eines vorher ausgesprochenen Satzes liefern zu wollen. Man ist in der That berechtigt, ein solches Mißtrauen zu hegen, wenn man sieht, daß Resultate über die Wirkung der Electricität veröffentlicht worden sind, welche andere Beobachter unter den nämlichen Umständen nicht wieder zu erhalten vermochten.

Sicher ist es, daß die Pflanzenfaser, wenn sie electrischen Schlägen ausgesetzt wird, auf einige Zeit ihre Elasticität verliert. So fallen z. B. die Blätter von Mimosa pudica durch Electrisiren zusammen und richten sich erst nach einigen Tagen wieder auf, wie der Verf. zum öfteren beobachtet hat. Nach den Versuchen Humboldt's neigen sich die noch nicht verholzten Blüthenstengel von verschiedenen Gewächsen augenblicklich abwärts, wenn sie von einigen electrischen Schlägen getroffen werden.

Es ist vielfach behauptet worden, daß der Keimprozeß unter dem Einfluß eines electrischen Stromes außerordentlich beschleunigt werde, und man will durch Versuche gefunden haben, daß electrisirte Senfsamen 11 Tage früher gekeimt hätten, als nicht electrisirte. So lange indessen keine controlirenden Versuche angestellt worden sind, möge man diese Angaben als zweifelhaft hinnehmen. Dagegen fanden Westrumb und Schneider übereinstimmend, daß Hyacinthen, welche eine Viertelstunde lang electrisirt worden waren, im Dunkeln Blüthen entwickelten. Hiernach schiene also die Electricität das Licht ersetzen zu können. Für die Angabe von Bradish, nach welcher electrisirte Tabakspflanzen innerhalb 21 Tagen zur Blüthe gelangt

wären, liegt aber keine bestätigende Beobachtung vor, indessen gehört eine derartige schnelle Entwicklung des Tabaks auf gutem Boden und in warmer Lage, auch ohne Einwirkung der Electricität, nicht zu den Seltenheiten.

Die Gewitter äußern ganz bestimmt einen großen Einfluß auf die Vegetation; nur ist es zweifelhaft, ob derselbe auf der electrischen Natur der Gewitter beruhe, oder den sonstigen Accidenzien der letzteren zuzuschreiben sei. Die Gewitter treten gewöhnlich dann auf, wenn es längere Zeit nicht geregnet hat, mittlerweile sammelt sich in der Luft viel Staub, Kohlensäure und Ammoniak an, welche dann durch den Gewitterregen zur Erde geführt werden. Daß solche Regen viel fruchtbarer sein müssen, als andere, welche weniger von diesen Stoffen enthalten, liegt auf der Hand.

Der Blitz und das Wetterleuchten soll der Blüthe schaden. Im Odenwalde ist man allgemein der Ansicht, daß der in den Hackwaldungen gebaute Buchwaizen in gewitterreichen Sommern und namentlich bei öfterem Wetterleuchten taub blühe.

Im vorbereitenden Theile dieses Werkes sind die Bedingungen für das Einschlagen des Blitzes auseinandergesetzt worden. Es wurde gezeigt, daß der Blitz vorzugsweise die guten Leiter der Electricität aufsucht. Da das grüne Holz zu diesen gehört, so ist zu vermuthen, daß die Bäume, welche schon wegen ihrer Form und Höhe das Ueberspringen des Funkens erleichtern, öfter vom Blitze getroffen werden. Dies ist in der That der Fall, und die Erfahrung hat gelehrt, daß alle Bäume ohne Ausnahme den Beschädigungen des Blitzes unterliegen können, wiewohl einige Holzarten mehr, andere weniger von ihnen zu leiden haben. Möge es uns erlaubt sein, über diesen interessanten Gegenstand den Bericht eines Mitarbeiters der Allgemeinen Forst- und Jagdzeitung von 1850 unsern Lesern vorzuführen.

„Dem Einschlagen des Blitzes am meisten unterworfen sind die Nadelhölzer, und unter diesen vorzüglich die Fichte. Wenn Kiefern und Fichten beisammenstehen, so schlägt der Blitz eher dreimal in eine Fichte, als einmal in eine Kiefer. Der Blitz schlägt in der Regel in die höchsten Bäume, an der ganzen Länge des Stammes ununterbrochen hinunter bis in die Erde; nur wenn er einen starken Zweig auf seinem Wege trifft, dann fährt er wohl den Zweig entlang rechtwinklig abwärts. Auch findet man bei gedreht erwachsenen Stämmen, daß der Blitz Sprünge macht, wenn die Drehung der Holzfasern, deren Längsrichtung er am liebsten folgt, seiner verticalen Eilfertigkeit zu hinderlich ist."

„Unter den Laubhölzern ist die Birke der Blitzbeschädigung am meisten unterworfen. Hier ist der graphitfarbige Streifen, welchen der Blitz allen Stämmen (Laub- und Nadelhölzern) ohne Ausnahme ertheilt, kaum oder gar nicht sichtbar, soweit die Rinde weiß und glatt ist; dagegen beschränkt sich der Blitz, sobald er an den unteren rissigen Theil des Stammes kommt, nicht auf die gewöhnliche Furche allein, sondern er reißt die aufgesprungene schwarze Borke rings um den Stamm mit ab und wirft sie radspeichenartig strahlig

oft 40 bis 50 Schritte weit. Nicht selten fehlt an dem untern rissigen Stammtheile die Splintfurche gänzlich, und scheint aus der rings abgeworfenen Rinde hervorzugehen, daß der Blitz gleichmäßig sich der ganzen betreffenden Stammoberfläche bemächtigt habe. Oben so wenig, wie unten entsteht aber ein Spalt im Birkenholze, dieses bleibt vielmehr, einige losgerissene Fasern abgerechnet, selbst unbeschädigt."

„Nächst der Birke kommt die Italienische Pappel, welche sehr häufig vom Blitze heimgesucht wird. Der Strahl reißt etwas Holz mit ab, setzt aber ebenso wenig, wie bei der Birke, in das Holz fort, es sei denn, daß er wiederholt einen und denselben Baum träfe. Ein merkwürdiger Fall dieser Art ereignete sich in den 1820er Jahren vor dem Augustthore zu Braunschweig. Hier befindet sich an der Chaussee eine doppelte Pappel-Allee, deren Bäume, etwa gleichzeitig gepflanzt, so ziemlich gleiche Höhe haben mögen. Dessen ungeachtet traf der Blitz in einer der äußersten Baumreihen regelmäßig eine und dieselbe, etwa die dritte Pappel, so daß diese durch die wiederholten Schläge allmählig ganz aufgerissen, auch aus Rücksichten für die gefährdete Passage entfernt werden, und einer jungen Pappel Platz machen mußte, welche vom Blitze nichts zu leiden hat. Des häufigen Vorkommens an Ortschaften und Chausseen wegen sind bei Pappeln mehr, wie bei andern Bäumen, die Erscheinungen des Blitzes beobachtet worden. So ereignete sich z. B., daß bei Horst, zwischen Burgdorf und Hannover, an einer mit Pappelbäumen eingefaßten Chaussee gesehen wurde, wie der Blitz an einer Pappel herab, quer über die Landstraße und an der gegenüberstehenden Pappel wieder in die Höhe fuhr, mit Zurücklassung der gewöhnlichen, zwei Finger breiten Furche. Mir ist ein Fall bekannt, wo eine Italienische Pappel etwa eine Ruthe weit neben ein Gebäude gepflanzt war. Eines Tages schlug der Blitz an derselben herab und verfolgte an der Erde eine der stärksten Wurzeln. Aus dem aus Eichenholz construirten Grunde des ihm hier in den Weg tretenden Wohnhauses riß er drei Fuß heraus und fuhr, ohne den Fußboden zu verletzen, unter demselben durch die Stube, ferner unter der Stubenthüre (dieses Mal ohne das Grundholz zu beschädigen) immer rechtwinklig hindurch auf die mit Lehm gedeckte Dreschdiele. Hier seinen Lauf unverrückt verfolgend, mußte sich der Blitz gehoben haben, denn er hinterließ eine Spur, wie vom Pfluge gezogen. Er verschwand durch das große Scheuerthor, ohne zu zünden. In einem andern Fall aber, wo der Blitz an einer, etwa 1 Ruthe von einer Scheune entfernten Pappel herablief, verließ er diese bei einem sich dem Scheuerdach (ausnahmsweise) ziemlich rechtwinklig zuneigenden Zweige, tanzte auf demselben hinaus unter das Dach und steckte das ganze Gebäude in Brand."

„Die Eichbäume sind dem Blitzstrahl um so mehr exponirt, je älter und je mehr sie im Gipfel mit trockenen Aesten versehen sind. (Nach der Ansicht des Verf. wohl nur deshalb, weil die Gipfeltrockniß hauptsächlich an freistehenden Bäumen vorkommt). Der Blitz fegt daran hinab und reißt außer der Borke auch einige Holzfasern mit fort, ohne dem Holze zu schaden. (Da-

gegen erzählt der Berichterstatter später von einer andern 90jährigen Eiche, daß sie der Blitz in einer Höhe von 12 Fußen rein abgebrochen hätte). Ist die Eiche von unten bis oben hohl und an beiden Enden aufgeschlossen, so daß die Luft hindurchzuziehen vermag, dann schlägt der Blitz im Innern herab und zündet und zerstört leicht den ganzen Stamm."

Früher war man der Ansicht, daß die Erlen und Buchen gänzlich vom Blitze verschont blieben, und es wurde oft gerathen, diese Bäume in der Nähe der Wohnungen als natürliche Blitzableiter anzuziehen*). Allerdings kommt der Blitzschlag bei der Erle selten vor, v. Gall will in seinen mehr als 30000 Hectaren umfassenden Dienstbezirken niemals von einem solchen vernommen haben; dagegen geht aus der folgenden, von unserem Berichterstatter mitgetheilten Notiz hervor, daß auch die Erle vom Blitze getroffen werden kann. „In einer Feldhecke in der Nähe von Hoya, erzählt derselbe, befand sich eine Reihe etwa 45jähriger Erlen. Von diesen wurde gegen Ende Juli 1846 Morgens 5 Uhr eine von oben herab durch den Blitz sprungweise in der Borke aufgerissen, und dann, soweit der Poll reichte, rein abgebrochen. Den dann folgenden astlosen Theil des Stammes hatte der Blitz etwa 5 Fuß lang in Splitter zerschlagen, welche kaum zu finden waren. Unten aber war ein etwa 10 Fuß langer, blos eingespaltener Stumpf stehen geblieben, an welchem der Blitz bis in die Erde hinunter gefahren war".

Was die Blitzschläge bei Buchen anlangt, so berichtet von Gall, es seien ihm aus seiner 21jährigen Dienstführung fünf Fälle bekannt, daß der Blitz in Rothbuchen schlug, und zwar zwischen 920 bis 1670 Par. Fuß über der Meeresfläche. Der Blitz hatte eine viel zerstörendere Wirkung bei diesen Stämmen, als bei andern Holzarten (wie v. Wedekind richtig interpretirt wegen der breiteren Spiegelfasern der Buchen, die das Holz spaltbar machen), denn es wurden hierdurch sehr starke Aeste herabgeschmettert, die zum Theil einen Durchmesser von 17—20 Centimetern hatten. Der erstere Stamm war stark und konnte an 11—12 Stere geben, der letztere, zwar viel schwächer, war dagegen aller Aeste auf einer Seite beraubt, wo der Blitzstrahl herunterfuhr; auch mußten beide Stämme, an denen der Schaft zum Theil geborsten, das folgende Jahr gefällt werden.

Vom Blitzschlag bei Linden führt unser Gewährsmann folgenden Fall

*) Diesen Zweck würde man übrigens verfehlt haben, denn zu Blitzableitern taugen nur gute Leiter der Electricität. Wollte man Bäume hierzu verwenden, so müßte man gerade diejenigen wählen, welche am häufigsten vom Blitz getroffen werden, sie aber in eine solche Entfernung von den Wohnungen pflanzen, daß sie zwar den Blitz von diesen ablenken, aber doch nicht eine etwaige Entzündung auf dieselben übertragen können. Jedenfalls wäre diese Art von Blitzableitern eine sehr unvollkommene, und schwerlich möchten sich ängstliche Naturen durch dieselben beruhigen lassen. — Schlechte Leiter der Electricität halten den Blitz von andern Gegenständen, z. B. Wohnungen, nicht ab, sie genießen nur den Vortheil, daß sie selbst weniger leicht getroffen werden, wenn ein anderer guter Leiter in ihrer Nähe sich befindet.

an: „Eine ringsum freie, volläſtige, ſtarke Linde zu Malloh, Amts Karſebadt, wurde vor einigen Jahren vom Bliß getroffen, vegetirt aber ungeachtet der erlittenen Borſte heiter fort. Merkwürdiger Weiſe verbreitete ſich der Schlag nicht allein verſengend über den zwiſchen der Linde und dem Wohnhauſe ſtehenden Kohl, ſondern traf auch drei in der Küche beſchäftigte Menſchen und drei an der andern Seite der Linde vor einem Wagen haltende Pferde, während der neben der geöffneten Hausthüre ſtehende Förſter unberührt blieb. Die umgeſunkenen Menſchen und Pferde kamen wieder zur Beſinnung."

Von der Aspe erzählt derſelbe folgendes: „In der Nähe des Dorfes Gliſſen, Amts Nienburg, wurde eine etwas 16 Zoll im Durchmeſſer haltende Aspe, welche am Rand eines 80—150jährigen Buchenwaldes, umgeben von einzelnen Birken und Buchen auf einer kleinen Blöße ſtand, im Juni 1849 vom Bliße getroffen. So weit die Aeſte herabſaßen, ſah man nur die gewöhnliche Furche, dem untern Theil des Stammes war aber nicht allein ringsum die Borke genommen und zum Theil 185 Schritte weit umher geſchleudert, ſondern das Stammholz war durchweg zerſplittert und wiedenartig zuſammengedreht. Wegen des verbliebenen Zuſammenhangs der Theile dauerte es noch etwa vierzehn Tage, bis der Stamm umſank." Von der Weide berichtet derſelbe, daß Ende Juli 1849 in der Gegend von Hoya der Bliß aus einer Reihe geköpfter Weiden ein geſundes Exemplar traf und dasſelbe in flachsartige Faſern kurz und klein ſchlug. Ein geringes Stück vom Stamm mit einigen Aeſten und welken Blättern war übrig geblieben. Nach demſelben hat auch der Boden, auf welchem die Holzarten wachſen, weſentlichen Einfluß auf die Anziehung des Blißes. Namentlich ſoll da, wo ortſteinhaltiger Untergrund (Raſeneiſenſtein) vorkommt, wie an vielen Orten in den Haidegegenden, Blißſchlag an der Tagesordnung ſein. „Eine etwa 60jährige verkrüppelte Eichenpflanzung auf einem etwa einen Morgen umfaſſenden Ortſteingrunde befindlich, (deren Stämme bei einer Höhe von ungefähr 25—30 Fußen etwa 5 Zoll im Durchmeſſer enthielten) war Stück für Stück vom Bliße beſchädigt. Der Beſtand lag auf einem etwas erhobenen, mit ſtruppiger Haide bewachſenen Boden. Ringsum war ebener Anger mit hohen alten Eichen, welche der Bliß gänzlich verſchont hatte. Beim Gewitter flohen ortskundige Hirten jene Krüppelpflanzung wie die Peſt, weil dort regelmäßig der Bliß einſchlug."

Nach den Beobachtungen des Verf. hält der Blißſchlag bei den Bäumen keine beſtimmte Himmelsgegend ein. Ob die Bäume in ebenen Gegenden öfter oder weniger vom Bliß getroffen werden, als im Gebirge, läßt ſich wegen Mangels an vergleichenden Beobachtungen bis jeßt noch nicht entſcheiden. Wünſchenswerth wäre es, wenn mehr Notizen über den Blißſchlag bei Bäumen aus verſchiedenen Gegenden geſammelt würden; dieſe Erſcheinung kommt verhältnißmäßig zu ſelten vor, als daß ein einziger Beobachter das nöthige Material aufbringen könnte.

Siebzehntes Buch.

Einfluß der Lage und der physikalischen Beschaffenheit des Bodens auf die Waldvegetation.

Nachdem wir erörtert haben, welche Rolle die Atmosphäre, die Meteore und die chemischen Bestandtheile des Bodens in Bezug auf die Waldvegetation spielen, bleibt uns noch übrig, den Einfluß der Lage und der physikalischen Beschaffenheit des Bodens zu würdigen.

Da übrigens die Wirkungen der Atmosphäre und der Meteore gar sehr von dem Boden abhängen, so konnte es sich nicht fehlen, daß vieles hierher Gehörige schon in den vorderen Abschnitten dargestellt wurde. Die strenge Sonderung der Materien, wie sie im Vorbereitenden Theil stattfand, konnte hier nicht in dem nämlichen Maße durchgeführt werden, ohne den organischen Zusammenhang des Stoffes zu Gunsten der formellen Behandlung theilweise aufzuheben. Die verschiedenen Agentien des Pflanzenlebens, so weit dieselben hier in Betracht kommen, wirken nicht in der nämlichen Reihenfolge, welche die schriftliche Darstellung der systematischen Ordnung halber einzuhalten gezwungen ist; Wärme, Feuchtigkeit, Luftströmung und noch so vieles Andere vereinigt sich, um die Producte des vegetabilischen Organismus hervorzubringen. Wollten wir nur einigermassen ein Bild von diesem Zusammenwirken geben, so mußten wir nothwendiger Weise hie und da in andere Gebiete der Darstellung hinübergreifen. So ist es denn gekommen, daß wir hier weniger Neues vorzubringen, als vielmehr das in den vorderen Abschnitten Gesagte, welchem an dem gegenwärtigen Platze seine systematische Stellung gebührt, zu wiederholen und zusammenzufassen haben. Wir wollen uns hierbei der möglichsten Kürze befleißigen.

1. Ursprüngliche und secundäre Lagerstätte des Bodens.

Das sogenannte aufgeschwemmte Land ist gewöhnlich tiefgründiger, die Erdpartikelchen sind feiner zertheilt und verwittern deßhalb leichter, als bei solchem Boden, welcher unmittelbar aus der Zersetzung des unter ihm liegenden Gesteines hervorgegangen ist. Der aufgeschwemmte Boden gestattet daher den Wurzeln der Gewächse, sich gehörig auszubreiten und tief in die Erde

einzudringen, was namentlich für diejenigen Holzarten von Wichtigkeit ist, welche eine Pfahlwurzel bilden. Wo der aufgeschwemmte Boden, wie es fast immer der Fall ist, hinreichende Feuchtigkeit besitzt, da ist er durch seine Fruchtbarkeit ausgezeichnet. Wir führen als Beleg die Norddeutschen Marschen, die Auen an den Ufern des Rheins an. Die schönsten, höchsten Eichen wachsen in solchem Boden (Knoblauchsaue am Rhein, die Eichenwaldungen in den Oderniederungen). Die Fruchtbarkeit der Thäler, ja selbst der kleinern Mulden und Klingen beruht hauptsächlich auf der Tiefgründigkeit und feinen Zertheilung des Bodens, der an diesen Orten seine secundäre Lagerstätte gefunden hat. Wenn das aufgeschwemmte Land häufig von Spätfröften zu leiden hat, so kommt dies meist auf Rechnung der vertieften Lage, welche eine Ansammlung der Feuchtigkeit begünstigt.

2. Wurzelbodenraum und Untergrund.

Flachgründiger Boden hindert das Eindringen der Wurzeln in die Tiefe; es ist bei ihm die Bildung der Pfahlwurzeln und damit auch das Höhewachsthum vieler Holzarten (Eichen, Kiefern ꝛc.) aufgehalten. Er trocknet leicht aus und erschwert eine tiefgehende Bodenbearbeitung.

Ein undurchlassender Untergrund, welcher entweder von plastischem Thon, oder von Felsen, oder von Raseneisenstein gebildet wird, ist der Baumvegetation in mehrfacher Hinsicht schädlich. Er hemmt die Pfahl- und Stechwurzelbildung, verhindert das Eindringen des Wassers in den Boden und verursacht dadurch bei ebener Lage ein Aufstauen der Feuchtigkeit und Versumpfung, oder er bewirkt in geneigter Lage, daß das Wasser schnell abfließt, wodurch der Boden trocken gelegt wird.

Am günstigsten gestaltet sich das Verhältniß zwischen Wurzelbodenraum und Untergrund für die Vegetation, wenn ersterer leicht, letzterer etwas schwerer durchdringbar ist. Es können dann die Wurzeln nach allen Richtungen hin sich ausbreiten, während zugleich der Untergrund das schnelle Abziehen der atmosphärischen Niederschläge verhindert.

3. Tiefländer.

Die Tiefländer sind mit den verschiedenartigsten Bodensorten ausgestattet. In dem continentalen Europäischen Tiefland, welches sich von den Küsten des Canals bis zum Ural hinzieht, findet man große Ablagerungen von Geschieben (theilweise mit erratischen Blöcken), Lehm, Thon, Sand (bis zum feinkörnigsten Flugsand hin). Eine eigenthümliche Bodenart, welche namentlich an den Küsten der Nordsee ausgedehnte Flächen einnimmt, ist das Marschland, welches daselbst durch die Absätze des Meerwassers entsteht. Je nach der Beschaffenheit der Substanzen, welche das Meer auswirft, ist die Natur des Marschbodens verschieden. Es wechseln oft auf kurze Strecken hin Lager von Kies, Sand, Lehm, Mergel, Thon mit Absätzen von schlammartigen Producten. Die letzteren sind wegen ihrer feinen Vertheilung, welche eine schnelle

Verwitterung des Bodens und eine Ausbildung des Wurzelsystems der Gewächse gestattet, besonders fruchtbar. — Auch Stromtiefländer enthalten Marschboden, nur ist hier die Zusammensetzung der Ablagerungen noch mehr dem Wechsel unterworfen.

Das südliche und südwestliche Tiefland des Russischen Reiches ist durch eine eigenthümliche Bodenart — die sogenannte Schwarzerde — ausgezeichnet, welche wahrscheinlich in die Klasse der Meeresmarschen gehört. Wenigstens ist es erwiesen, daß dieses Tiefland früher der Grund eines Meeres war. Die Schwarzerde enthält neben sehr feinzertheilten Mineralsubstanzen 6—12% organische Materie.

Die Vegetation der Tiefländer ist, je nach der Natur des Bodens, sehr verschieden. Wo der Boden aus undurchlassendem Thon besteht, da bilden sich Sümpfe und die Flora beschränkt sich auf die eigentlichen Sumpfgewächse. Bei den Sandablagerungen kommt es darauf an, ob der Untergrund feucht oder trocken sei. Im ersteren Falle ist die Cultur möglich, wenn nur die Oberfläche des Sandes beruhigt worden ist, im andern Falle gestaltet sich das Terrain zu einer Wüste (Sahara).

Die Stromtiefländer sind gewöhnlich durch Hügel oder Berge gegen rauhe Luftströmungen geschützt und entwickeln deßhalb frühzeitig im Jahre ihre Vegetation, dagegen leiden sie häufig von Spätfrösten, welche dem größern Feuchtigkeitsgehalt des Bodens und dem Mangel an Luftwechsel zuzuschreiben sind. Die ausgedehnteren Meeres- und die continentalen Tiefländer dagegen sind den Winden sehr ausgesetzt, so wird z. B. die Norddeutsche Ebene sowohl von den Seewinden, als auch von den austrocknenden Ostwinden (welche aus dem innern Rußland kommen) heimgesucht.

4. Gebirgsländer.

Mit wachsender Meereshöhe treten eine Menge Veränderungen im Klima ein, welche bewirken, daß die Vegetation der Gebirge von derjenigen der Tiefländer abweicht.

Die auffallendsten Erscheinungen im Pflanzenleben werden durch die Abnahme der Temperatur hervorgebracht. Dieser ist es zuzuschreiben, daß das Verhältniß der Dicotyledonen zu den Monocotyledonen sich vermindert und daß zuletzt nur noch Cryptogamen die Flora der Gebirgshöhen ausmachen. Aber lange vorher, ehe die dicotyledonischen Krautpflanzen aufhören, sind schon die Baumgewächse verschwunden.

Die Fähigkeit unserer Holzarten, geschlossene Bestände zu bilden, verliert sich gegen die äußerste Grenze ihres Vorkommens hin, wahrscheinlich deßhalb, weil die Factoren des Bodens und des Klima's, welche der Baum zu seinem Gedeihen verlangt, sich in den höheren Regionen nicht mehr über ganze Flächen hin, sondern nur an einzelnen Puncten finden.

Das Höhewachsthum der Bäume nimmt nicht proportional mit der

Erhebung über die Meeresfläche ab; oft trifft man in den Gebirgen nicht blos einzelne Bäume, sondern selbst ganze Bestände, welche sich durch größere Stammlängen vor den Waldungen in der Ebene auszeichnen, selbst wenn der Boden hier und dort keine Verschiedenheiten zeigt. Die größere Luftfeuchtigkeit im Gebirge begünstigt das Wachsthum der Holzpflanzen ganz ausnehmend. Dagegen wirkt im mittleren Deutschland eine Meereshöhe von 600 — 700 Metern schon merklich nachtheilig auf das Längewachsthum der Bäume ein.

Da der Massezuwachs bei einerlei Holzart, Betriebsart, Waldbehandlungsart 2c. dem Längewachsthum ziemlich proportional ist, so läßt sich nach dem Vorhergehenden auf die Masseerträge der Gebirgswaldungen schließen. Ueberall da, wo das Längewachsthum sich noch gehörig entwickelt, findet auch ein entsprechender Massezuwachs statt. So ergab sich bei einem Ertragsversuch, den der Verf. im Vogelsbirge bei 500 Metern Meereshöhe anstellte, für 100jährige Buchen ein jährlicher Durchschnittszuwachs an prädominirender Holzmasse von mehr als 6 Steren pro Hectare, desgleichen bei einem andern Ertragsversuch auf dem Thumkohlenkopf, Reviers Hasserode im Harz, ebenfalls bei ungefähr 500 Metern über der Meeresfläche in einem 97jährigen Fichtenbestande 18 Stere Durchschnittszuwachs pro Hectare. Diese Erträge stehen, wie man sieht, denjenigen von Beständen in der Ebene nicht nach. Bei Holzmasseerträgen von diesem Belang bleibt auch der Zuwachsgang im Gebirg und in der Ebene nahe derselbe; erst dann, wenn der Durchschnittszuwachs auf einen bedeutend kleineren Betrag sich reduzirt, tritt der Fall ein, daß er erst in viel spätern Altern, als in der Ebene, culminirt. Davon liefert u. A. die Lärche ein Beispiel; bei 100 — 200 Metern Seehöhe erfolgt der höchste Durchschnittszuwachs oft schon mit dem 20ten Jahre; in den Alpen dagegen, bei 1400—1500 Metern Seehöhe, erst nach dem 80—100ten Jahre.

Die Häufigkeit der Samenjahre ist im Gebirge viel geringer, als in der Ebene; doch sind die geschützten Lagen der Vorberge oft durch eine reiche Production von Baumfrüchten ausgezeichnet. So gedeihen z. B. am südlichen Rande des Taunus die Wallnüsse und Kastanien fast in jedem Jahre.

Oben wurde bereits der Einfluß erwähnt, den die größere Feuchtigkeitssumme im Gebirge auf die Waldvegetation ausübt. Es kommt aber nicht blos der durch die häufigen atmosphärischen Niederschläge hervorgerufene größere Feuchtigkeitsgehalt des Bodens in Betracht, sondern auch die bedeutendere relative Feuchtigkeit der Luft. Sie ist es, welche den Ausfall, den die Wärmeabnahme im Gebirg in Bezug auf die Holzmassenproduction bewirken kann, wenigstens bis zu einer gewissen Erhebung über die Meeresfläche hin wieder ausgleicht. In der größern Luftfeuchtigkeit ist die Ursache zu suchen, warum die Buche, Fichte und Weißtanne vorzugsweise das Gebirge bewohnen. Hier können diese Holzarten ganz im Freien, ohne den Schutz der Mutterbäume, sich natürlich fortpflanzen, hier wachsen sie in der Jugend schneller empor

und entwickeln sich kräftiger, so daß sie nicht von andern Holzarten unterdrückt werden können. Der größere relative Feuchtigkeitsgehalt der Luft und der häufiger umzogene Himmel erlauben im Gebirge, die vorgenannten Holzarten im Freien mittelst Saat anzuziehen, was in der Ebene, wenigstens auf nicht zubereitetem Boden, selten gelingt.

Der größern Menge an Luft- und Bodenfeuchtigkeit ist es ferner zuzuschreiben, warum in den Vorbergen das abgefallene Baumlaub so schnell verwest. Dagegen wird wieder in den höheren Lagern der Gebirge die Humusbildung durch die Abnahme der Temperatur verzögert; letztere, sowie die stagnirende Feuchtigkeit des Bodens, welche wegen Mangels an Wärme nicht verdunsten kann, geben Veranlassung zur Erzeugung von Torfmooren.

Schneedruck und Schneebruch äußern ihre verderblichsten Wirkungen zwischen 300—800 Metern Meereshöhe; weiter hinauf fällt der Schnee schon feinflockiger und trockner und häuft sich deßhalb nicht in größeren Massen auf den Zweigen der Bäume an. Duft- und Eisanhang treten mehr in der Ebene, als im Gebirge auf.

Die Gefahr des Windwurfs hängt im Gebirge sehr von der Configuration des Bodens, dem Schutz durch vorragende größere Berge ꝛc. ab. Von austrocknenden Winden leiden namentlich die Ostseiten im Gebirge, sie sind zugleich den Spät- und Frühfrösten vorzugsweise ausgesetzt, was sich in noch höherem Grade auf die Südostseite bezieht. Hitze und Dürre wirken mehr an den Südseiten der Berggehänge.

Der Boden ist in den Thälern gewöhnlich tiefgründiger, als auf dem Rücken der Gebirge, weil hier die meteorischen Niederschläge die feineren Erdtheilchen ablösen und in die Tiefe schwemmen.

Betrachten wir nun noch den Einfluß, den die Form und Volumvertheilung der Gebirge auf die Vegetation äußert.

Bei kegelförmigen, parabolischen und kugelsegmentartigen Bergen kommt es vor Allem auf den Winkel an, welchen die Bergwand mit der Horizontalen bildet. Je größer dieser Winkel ist, um so weniger wird sich die Feuchtigkeit halten und um so leichter die Erde von den Bergwänden aus in die Tiefe geschwemmt werden können. Bei gleicher Grundfläche und Höhe besitzen die kegelförmigen Berge mehr Oberfläche im Verhältniß zur Masse, als die parabolischen und kugelsegmentartigen, jene werden daher mehr Wärme durch Strahlung und Mittheilung an die Luft abgeben. Da die Spitzen der kegelförmigen Berge durch Bäume, welche auf der Bergwand stehen, nur wenig gegen Sonne und Wind geschützt werden können, so ist auf ihnen die Cultur, namentlich von solchen Holzarten, welche zu starker Blattausdünstung geneigt sind, mit Schwierigkeiten verbunden.

Hörner sind gewöhnlich unbewaldbar; dasselbe gilt von den schroff ansteigenden Wänden parallelepipedischer Berge, während der abgeplattete Gipfel

zur Holzerzeugung benutzt werden kann. (Quadersandsteinberge in der Sächsischen Schweiz).

Kettengebirge besitzen mehr Thäler und Rücken, daher mehr Verschiedenheiten im Boden und in der Vegetation, als Massengebirge. Bei jenen kommt Alles darauf an, nach welcher Himmelsgegend hin die Ketten verlaufen. Ist ihre Längsrichtung winkelrecht zur Richtung der kalten oder austrocknenden Winde, so wird zwar die Wand der vordersten Kette, gegen welche der Wind gerade anprallt, alle nachtheiligen Einflüsse dieser Winde empfinden, dagegen wird schon die entgegengesetzte Wand der nämlichen Kette vor dem Wind gesichert sein. Auch die der Windrichtung unmittelbar zugekehrten Seiten der übrigen Ketten werden durch die erste Kette, namentlich wenn diese etwas vorragt, geschützt, während die hinter dem Winde liegenden Flächen der Ketten gewöhnlich ein herrliches Klima erhalten, welches das frühzeitige Erwachen der Vegetation, sowie die Blüthenbildung und Fruchtreife, die Cultur exotischer Gewächse ꝛc. begünstigt. — Ist dagegen die Längserstreckung der Ketten mit der Richtung der kalten oder austrocknenden Winde parallel, so können diese ungehindert den Lauf der Thäler verfolgen, was zur Folge hat, daß die Vegetation auf keiner von den beiden Thalwänden gedeiht.

5. Hochebenen.

Diese besitzen eine höhere Jahrestemperatur, als isolirte Berge, dagegen werden sie, wenn ihre Erhebung über die Meeresfläche bedeutend ist, oft von Fröſten heimgesucht. Der Boden auf Hochebenen ist dem Abschwemmen durch die Meteorwasser weniger ausgesetzt, leidet aber häufig durch Versumpfung. Die Mehrzahl der Hochebenen enthält ausgedehnte Torflager.

6. Geographische Länge und Breite, Meereshöhe.

Die Wärme nimmt vom Aequator nach den Polen und von der Erdoberfläche nach den höheren Regionen des Luftkreises hin ab, indessen ist die Distanz für eine gewisse Temperaturabnahme in horizontaler Richtung bedeutend größer, als in verticalem Sinne. Daher kommt es denn, daß die Vegetation im Gebirge bei einer senkrechten Höhe verschwindet, deren Größe, in horizontaler Richtung aufgetragen, noch nicht eine Verminderung der Temperatur um den Betrag von 1° bewirkt.

Die höhere Wärme einer mehr südlichen Lage kann durch die Erhebung des Terrains über die Meeresfläche wieder aufgehoben werden. In Deutschland findet von der Ost- und Nordsee bis zu den Alpen hin eine allmählige Steigung des Landes statt; auf der Linie von Stralsund nach München nimmt die Temperatur nur um 1°,2 zu. Allein München liegt 500 Meter über Stralsund.

Es ist früher bereits angedeutet worden, daß das Verhältniß der Phanerogamen zu den Cryptogamen in dem Maße kleiner wird, als die Jahres-

wärme mit zunehmender Pol- und Meereshöhe sich vermindert; es wurde ferner erwähnt, daß die Vegetation zuletzt ganz verschwindet, wenn ihr nicht mehr das zu ihrem Bestehen nothwendige Maß von Wärme geboten wird. Indessen entscheidet die mittlere Jahreswärme nicht allein über das Fortkommen der Gewächse. So hat z. B. Enontekis in Lappland eine viel niedrigere mittlere Jahrestemperatur (—2°,7), als der St. Gotthard (—0°,8), und doch findet man bei Enontekis noch Fichten, während die Spitze des Gotthardberges keine Baumgewächse aufzuweisen hat. Allein die Sommertemperatur von Enontekis beträgt 12°,6, die des Gotthards nur 6°,7. Der Unterschied rührt daher, weil die Sonne in den höhern Breiten während des Sommers länger am Himmel steht; die länger andauernde Wirkung der Sonnenstrahlen ersetzt hier Dasjenige, was jenen, wegen des schieferen Auffallens, an Intensität fehlt.

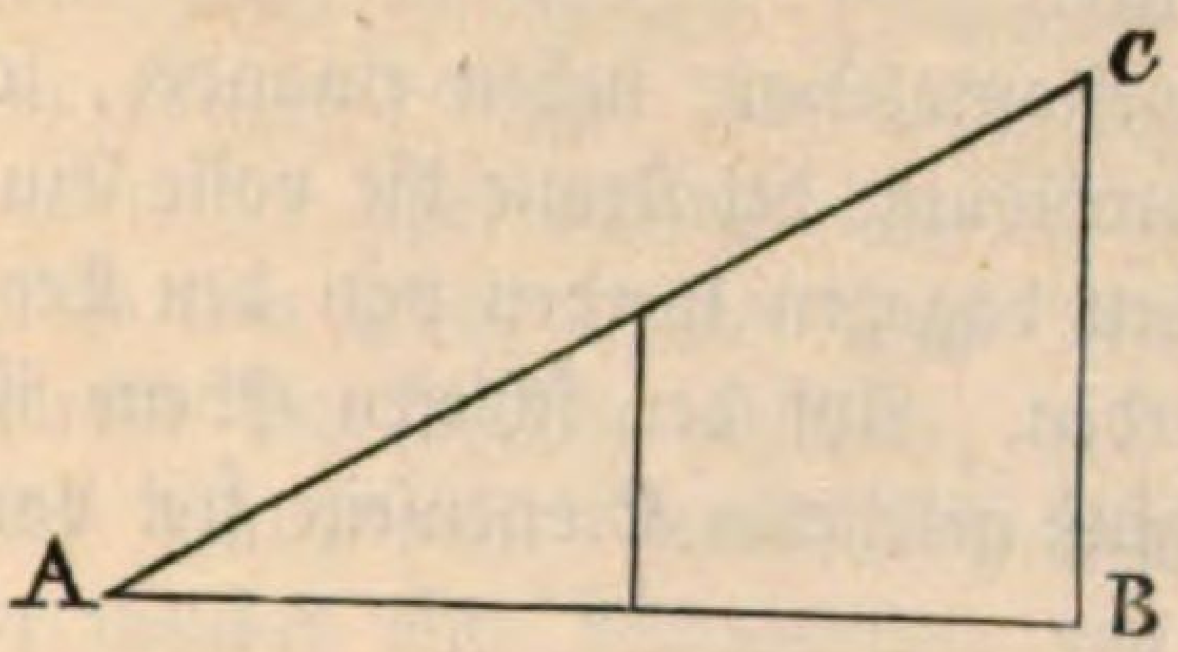
Die Abnahme der Wärme ist der Polhöhe nicht direct proportional. Die Vertheilung, Masse und Richtung der Gebirge, die Nähe des Meeres und größerer Landseen bewirken, daß die Linien gleicher Jahres-, Sommer- und Winterwärme nicht mit den Parallelkreisen zusammenfallen. Die Isotheren gehen im Innern der Continente zu höheren Breiten hinauf, als an den Küsten der Meere und Seeen, während die Isochimenen die entgegengesetzten Biegungen einhalten. Daher kommt es, daß im nördlichen Asien, zu Jakuzk, bei — 9°,7 Jahrestemperatur noch Sommergerste gebaut werden kann, obgleich der Boden selbst im Sommer hindurch in der Tiefe von einem Meter gefroren ist, während am Nordkap bei 0°,1 Jahrestemperatur selbst nicht einmal die Birke zu finden ist. Allein Jakuzk hat eine mittlere Sommerwärme von 17°,2, das Nordkap nur von 6°,4. Dagegen gestatten Orte an der See die Ueberwinterung zärtlicher Gewächse im Freien. So erfriert z. B. zu Dublin die Rebe nie, obgleich sie keine zur Weinbereitung taugliche Früchte trägt, während in der Nähe von Frankfurt, wo der berühmte Hochheimer Wein gezogen wird, der Weinstock öfters vom Frost beschädigt wird; allein Dublin hat 4°,6 Winter- und 15°,3 Sommertemperatur, Frankfurt a. M. 1°,2 Winter- und 18°,3 Sommertemperatur.

Der östliche Theil von Europa leidet sehr durch den kalten Nordostwind und den austrocknenden, im Sommer sehr warmen Ostwind. Dagegen arten die feuchteren westlichen Winde, denen die Westküste Europa's exponirt ist, öfter zu Stürmen aus.

7. Abdachung.

Bei gleicher Bodenbeschaffenheit, Tiefgründigkeit und Feuchtigkeit muß die schiefe Ebene mehr Holz erzeugen, als die ihr zur Projection dienende horizontale Fläche, und zwar aus folgenden Gründen:

Fig. 170.



a. Die schiefe Ebene A C ist im Verhältniß der Secante zu 1 größer, als die horizontale Fläche AB, denn es ist (Fig. 170)

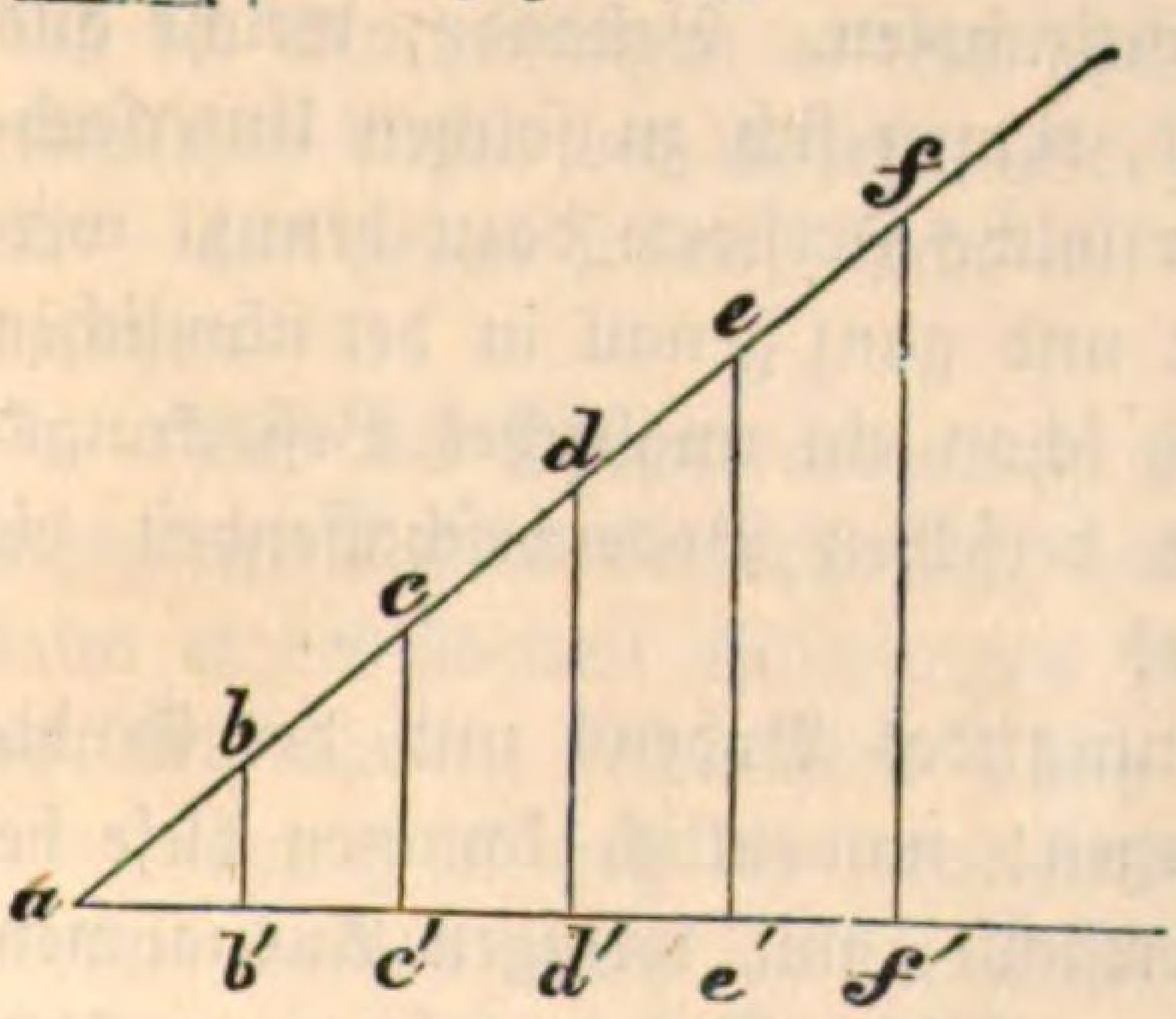
$$AB : AC = 1 : \sec. A$$

Bei gleicher Pflanzweite können also auf A C mehr Pflanzen Platz finden, als auf A B.

Neigungswinkel	Verhältniß der Horizontalen zur schiefen Ebene	Pflanzenmenge pro Hectare bei 1 Meter Pflanzweite
0°	1 : 1,00000	10000
5°	1 : 1,00382	10038
10°	1 : 1,01543	10154
15°	1 : 1,03527	10353
20°	1 : 1,06417	10642
25°	1 : 1,10338	11034
30°	1 : 1,15470	11547
35°	1 : 1,22077	12208
40°	1 : 1,30541	13054
45°	1 : 1,41421	14142

Uebrigens findet bei gleicher Pflanzweite die in der letzten Reihe der vorstehenden Tabelle angegebene Pflanzenmenge nur dann auf der schiefen Ebene so viel Nahrungsraum, als auf der horizontalen, wenn die Pflanzen senkrecht zur schiefen Ebene stehen. Besitzen sie dagegen eine zur Horizontalen senkrechte Stellung, so bietet die schiefe Fläche nicht mehr Nahrungsraum dar, als die horizontale, weil jetzt die letztere durch die Projectionen a b′, b′ c′, c′ d′, d′ e′, e′ f′ vorgestellt wird (Fig. 171).

Fig. 171.



Vielfache Untersuchungen haben gelehrt, daß die Bäume auf einer schiefen Ebene zwar nicht geradezu senkrecht auf ihr stehen, aber auch nicht mit der Horizontalprojection einen rechten Winkel bilden. Sie neigen sich etwas, wenn auch nur wenig, mit ihrer Spitze nach dem Fuße der schiefen Ebene hin. Es werden also jedenfalls auf der schiefen Ebene mehr Pflanzen den benöthigten Nahrungsraum finden, als auf einer horizontalen Fläche. Wie groß der Unterschied sei, das muß erst durch genauere Messungen festgestellt werden.

b. **Auf der schiefen Ebene erhält die Einzelpflanze mehr Licht, als auf der horizontalen Fläche.**

Stehen mehrere Pflanzen auf einer Horizontalebene neben einander, so wird nur die dem Boden entgegengesetzte Abwölbung der Krone die volle Einwirkung des Lichtes genießen, die Seitenflächen dagegen werden von den Kronen der angrenzenden Bäume beschattet werden. Auf der schiefen Ebene ist dagegen immer ein Theil der nach dem Bergfuß gekehrten Kronenseite frei von aller Beschattung.

Die Gärtner machen eine practische Anwendung von diesem Satze; um den Gewächsen in dem beschränkten Raume der Treibhäuser die größte Summe von Lichtgenuß zu verschaffen, stellen sie jene über einander auf eine künstliche Terasse.

Wenn trotz den unter a und b aufgeführten Momenten in der Mehrzahl der Fälle geneigte Lagen weniger Holzmasse produziren, als ebenes Terrain, so liegt die Ursache darin, daß letzteres gewöhnlich weniger Feuchtigkeit und Tiefgründigkeit besitzt. Die Meteorwasser fließen rascher ab, schwemmen die feinen Erdtheilchen von den schiefen Flächen hinunter in die Ebene der Thäler und lassen sie hier liegen.

Die Untersuchungen, welche bis jetzt angestellt worden sind, um den größern Zuwachs geneigter Flächen gegenüber dem Zuwachs horizontaler Ebenen von gleicher Bodenbeschaffenheit practisch nachzuweisen, können nicht als entscheidend angesehen werden, weil wir die Factoren der Bodengüte noch zu wenig kennen, um die Identität zweier Standorte mit Bestimmtheit aussprechen zu können. Wir halten es daher für überflüssig, dem Leser die Resultate solcher Untersuchungen mitzutheilen. Dasjenige, was unter a und b über den größern Holzzuwachs auf geneigten Flächen gesagt worden ist, beruht lediglich auf theoretischen Ansichten, und es wird noch lange dauern, bis es gelingt, die Belege für dieselben aus der Praxis herbeizuholen. Bestände, welche aus natürlicher Verjüngung hervorgegangen sind, eignen sich zu solchen Untersuchungen nicht im Mindesten; es können nur solche Forstorte dazu benutzt werden, welche auf künstlichem Wege begründet und ganz genau in der nämlichen Weise behandelt worden sind. Hat ja doch schon ein ungleiches Bestockungsverhältniß auf Localitäten von einer und derselben Bodenbeschaffenheit die verschiedensten Zuwachsergebnisse zur Folge!

Geneigte Flächen setzen der Bearbeitung des Bodens und der Erndte der erzogenen Producte Schwierigkeit entgegen; namentlich kommen diese bei der Landwirthschaft in Betracht, deren Gewächse, mit wenigen Ausnahmen, auf einem von der fruchtbaren Bodenkrume entblößten Boden, wie er gewöhnlich einem stark geneigten Terrain eigen ist, nicht gedeihen, während die Waldbäume noch auf nacktem Fels vegetiren können, wenn derselbe nur zerklüftet ist und das Eindringen der Wurzeln gestattet.

Bei der Waldwirthschaft kommt eine Bearbeitung des Bodens mittelst

Viehgespann sehr selten vor, oder sie läßt sich doch immer umgehen; die Landwirthschaft ist dagegen (abgesehen vom eigentlichen Gartenbau und der Cultur einiger weniger Gewächse, wie z. B. des Weinstocks) nur dann lohnend, wenn der Umbruch des Bodens und das Unterbringen des Samens mit Beihülfe von Vieh, anstatt durch Menschenhand, geschehen kann. Der Neigungswinkel der schiefen Flächen, auf denen die Agricultur noch betrieben werden kann, wird gewöhnlich überschätzt Zur Beurtheilung der Grenze, bis zu welcher eine Bearbeitung des Bodens mittelst Zugvieh noch ausführbar ist, möge die Notiz dienen, daß nach den Berichten von glaubwürdigen Reisenden die Maulthiere in Spanien beladen nur noch auf einer Neigung von 29° gehen. Der Wiesenbau kann auf stärker geneigtem Terrain ausgeübt werden, als der Ackerbau, weil bei jenem das Zugvieh nur zum Fortschaffen der Erndte gebraucht wird und diese leicht an die mit einem geringeren Gefäll versehenen Abfuhrwege gebracht werden kann. Indessen erfordert die Wiesencultur doch auch die Handarbeit von Menschen, und wo diese nicht mehr mit Sicherheit den Fuß aufsetzen können, da hört auch der Wiesenbau auf, abgesehen davon, daß auf so stark geneigten Flächen die Bodenkrume, auf welcher der Rasen sich bilden soll, gewöhnlich fehlt, weil sie durch Regen- und Schneewasser abgeschwemmt wird. Nach den Ermittlungen des um den Straßenbau verdienten Umpfenbach läßt sich ein Fußpfad von 31 Grad Neigung auf festem Boden nur mit Mühe ersteigen, und dies möchte auch die Grenze für den Wiesenbau sein, die indessen für lockeres Erdreich bei einer noch geringeren Neigung stattfindet. Diese Grenze würde viel tiefer liegen, wenn die Arbeiter blos bergan, und nicht auch in horizontaler Richtung schreiten könnten. Nach Sprengel sollen die besten Wiesen in der Schweiz und in Tyrol selten 15° Neigung übersteigen, und über 20° hinaus der Boden nur noch als Weide benutzt werden. Der Verf. hält diese Angaben für sehr richtig, er vermuthet, daß die Mittheilungen anderer Schriftsteller, nach welchen z. B. in den Oesterreichischen Alpen der Ackerbau bis zu 30°—35°, der Wiesenbau sogar bis zu 35°—45° gehen sollen, nicht auf wirklichen Messungen der Böschungswinkel beruhen.

Wo die Bodenbearbeitung mittelst der Hacke oder des von Menschen gezogenen Aadl's bewerkstelligt wird, wie z. B. beim Hackwaldbetriebe, da kann er bei stärkern Böschungen Platz greifen, als an solchen Orten, wo man den mit Thieren bespannten Pflug anwendet.

Gewiß ist, daß die Forstwirthschaft auf viel stärker geneigten Flächen betrieben werden kann, als der Ackerbau, indessen fehlt es noch an zuverlässigen Messungen über das Maximum des Neigungswinkels, bei welchem eine bestandsweise Anzucht des Holzes noch möglich ist. Einzelne Bäume können selbst noch auf ganz senkrechten Wänden (z. B. Mauern) Standraum finden; die Wurzeln dringen dann horizontal oder in schiefen Winkeln in die Wand ein, der Stamm macht über dem Wurzelstock eine Biegung und geht in ver-

ticaler Richtung in die Höhe. Uebrigens hängt das für die Waldcultur zulässige Maß der Neigung des Bodens auch von der Zusammensetzung des letztern ab; auf festem Erdreich, namentlich zwischen größeren Steinen, finden die Wurzeln mehr Halt, während lockerer Boden dem Abrutschen unterworfen ist.

8. **Exposition.**

Bei schiefen Flächen entscheidet nicht blos der Abdachungswinkel, sondern auch die Richtung nach der Himmelsgegend über das Gedeihen der Vegetation.

Südliche Lagen trocknen stärker aus, als nördliche. Auf jenen erwacht die Vegetation früher, dagegen leiden aber auch die Gewächse auf solchen Expositionen öfter von Fröſten, wenn nach vorausgegangener warmer Witterung Kälte eintritt. Noch mehr den Fröſten ausgesetzt sind südöstliche Lagen, weil hier der Uebergang der Kälte zur Wärme ein plötzlicher ist und, wie wir früher gesehen haben, der Erfriertod vorzugsweise durch rasches Aufthauen gefrorner Pflanzentheile herbeigeführt wird. — Im Gebirge steigt (mit einzelnen Ausnahmen) die Vegetation höher an den Südseiten empor, als an nördlichen Abhängen.

Oestliche Expositionen leiden in unserem Klima vor Allem durch austrocknende Winde, bleiben dagegen mehr von den Stürmen verschont.

Den Südwestseiten fehlt es gewöhnlich nicht an Feuchtigkeit, weil der Südwest in Deutschland der häufigste und zugleich der Regen-Wind ist. Doch wirkt sein öfteres Wehen nachtheilig auf den Wuchs vieler Bäume ein; die Stämme biegen sich nach der dem Wind entgegengesetzten Seite und erhalten oft Krümmungen, welche die Brauchbarkeit zu Nutzholz beeinträchtigen. Nordwest-, West- und Südwestseiten werden überdies von den Stürmen am meisten heimgesucht.

Ungeachtet die nördlichen und nordöstlichen Abhänge den kalten Winden vorzugsweise ausgesetzt sind, so zeigen sie doch in Deutschland, und namentlich die ersteren, den vorzüglichsten Holzzuwachs, gegenüber den anderen Expositionen, wie schon bei Vergleichung des Höhewachsthums der Bäume auf Nord- und Südseiten so recht in die Augen fällt. Der Grund dieser Erscheinung kann in nichts anderem, als in der Feuchtigkeit gesucht werden, welche sich auf Nordseiten mehr hält, und sowohl das Wachsthum der Holzpflanzen unmittelbar begünstigt, als auch die Verwitterung des Bodens befördert. Keinenfalls kann der größere Zuwachs auf den Nordseiten der kühleren Temperatur beigemessen werden, denn das Holzwachsthum auf Südseiten steht jenem nicht nach, wenn nur an Feuchtigkeit kein Mangel ist.

Daß im Gebirge die Einwirkung des Windes auf die verschiedenen Expositionen durch den Lauf der Thäler abgeändert wird, haben wir bereits früher entwickelt.

9. **Physikalische Eigenschaften der Bodenarten.**

Von dem hierher Gehörigen ist bereits Vieles in den vorderen Abschnit-

ten behandelt worden, so daß wir jetzt nur noch Weniges nachzutragen haben.

Bisher ist immer nur von der Wirkung der einzelnen Factoren die Rede gewesen, und wir haben es den folgenden Kapiteln vorbehalten, zu entscheiden, welche von diesen Factoren in Bezug auf die Waldvegetation von besonderer Wichtigkeit sind. Ehe dies geschehen ist, können wir den Einfluß der physikalischen Eigenschaften nur ganz im Allgemeinen andeuten. Indessen möge es uns erlaubt sein, dem Folgenden wenigstens einiger Maßen vorzugreifen und zu erklären, daß von den physikalischen Eigenschaften des Bodens die Festigkeit, Wasseraufnahmefähigkeit, wasserzurückhaltende Kraft, Wasserabsorptionsfähigkeit, Erwärmungsfähigkeit und wärmehaltende Kraft besondere Beachtung verdienen. Wir wollen nun Einiges über diese Eigenschaften angeben, behalten aber, wie bemerkt, die strenge und umfassende Würdigung derselben dem letzten Theil dieses Buches vor.

Lockere Bodenarten, wie Sand und Humus, erleichtern das Eindringen der Wurzeln, nehmen die wässerigen Niederschläge aus der Atmosphäre schnell auf und lassen sich gut bearbeiten. Dagegen geben sie ihren Feuchtigkeitsgehalt bei trockner oder warmer Witterung auch wieder leicht ab, werden in geneigten Lagen durch starke Regengüsse und das Thauwasser des Schnee's oft abgeschwemmt, auch frieren die Pflanzen auf ihnen (namentlich auf humoser Erde) bisweilen aus.

Feste Böden nehmen die niederfallenden Meteorwasser nicht leicht auf; in geneigten Lagen fließt das Wasser oft eher ab, als es eingedrungen ist, in Vertiefungen bleibt es stehen und verursacht Versumpfungen. Dagegen halten feste Bodenarten die einmal aufgenommene Feuchtigkeit länger an. Geringe Regenniederschläge nützen einem festen Boden, wenn er einmal trocken geworden ist, nur wenig, dagegen widersteht er länger der Sonnenhitze und den austrocknenden Winden, wenn er einmal gehörig angefeuchtet worden ist. Das längere Anhalten der Feuchtigkeit begünstigt bei festem Boden mittelbar die Entstehung der Früh- und Spätfröste.

Feinzertheilte Erdarten absorbiren viel Wasserdampf aus der Atmosphäre — eine Eigenschaft, die den Pflanzen namentlich während der trocknen Sommermonate zu Gute kommt.

Die Farbe des Bodens kann einen günstigen, wie ungünstigen Einfluß auf das Gedeihen der Vegetabilien äußern. Dunkle Bodenarten erwärmen sich stärker, als heller gefärbte und beschleunigen dadurch die Reife der Früchte; dagegen trocknen sie auch leichter aus und können dann nicht so viel Holzmasse produziren.

Beachtenswerth ist, daß der Humus (nicht die Humussäure) eine mittlere Festigkeit besitzt und vermöge dieser die Extreme der physikalischen Eigenschaften des Bodens vermindert. Ein Boden, welchem reichlich Humus beigemengt ist, wird daher der Mehrzahl der Pflanzen am meisten zusagen.

Zweiter Titel.

Gesammtwirkung der Factoren des Bodens und des Klima's.

Achtzehntes Buch.

Verhalten des Bodens und der Meteore zur Waldvegetation.

Einleitung.

In den vorderen Abschnitten dieser Schrift ist der Einfluß, den der Boden, die Atmosphäre und die Meteore auf die Waldvegetation ausüben, im Allgemeinen betrachtet worden; es bleibt jetzt noch übrig, den daselbst gefundenen Resultaten eine bestimmtere Beziehung zum Forstfach zu geben.

Die forstliche Bodenkunde und Klimatologie finden ihre Anwendung hauptsächlich im Waldbau: die Auswahl der Holzart, die Begründungsart der Bestände, ihre Erziehung und Verjüngung hängen ja ganz und gar vom Boden und Klima ab.

Wie jede practische Wissenschaft sich zuerst empirisch aufbaut, so hat auch im Forstwesen die Erfahrung im Laufe der Zeit eine große Zahl von Maßregeln angegeben, nach welchen wir noch jetzt unsere Wälder mit Erfolg bewirthschaften. Die ausgezeichneten Männer, von welchen unser heutiges System des Waldbau's herrührt, trafen mit natürlichem Takt das Wahre, ohne für die Richtigkeit ihrer Sätze einen andern Beweis, als den der eigenen Ueberzeugung zu haben.

Alles dasjenige, was sich in der Praxis bewährt, muß mit den allgemeinen Naturgesetzen in Einklang stehen, und es ist die Aufgabe der Wissenschaft, die Gesetze ausfindig zu machen, auf denen die durch die Erfahrung ermittelten Vorschriften zur Bewirthschaftung der Wälder beruhen.

Haben wir erst einmal die wissenschaftliche Grundlage der bestehenden Regeln erforscht, dann kann es uns nicht schwer fallen, aus denselben weitere nutzbringende Folgerungen abzuleiten.

Es besteht vielleicht kein Naturgesetz, welches nicht Anwendungen auf das practische Leben gestattet, und wenn es uns bis jetzt noch nicht gelungen

ist, jeden einzelnen Satz der Naturwissenschaften nutzbar zu machen, so beruht dies hauptsächlich wohl nur darin, daß diese Wissenschaften noch zu jung und noch nicht genug in den Händen Derjenigen sind, welche nach der Art ihres Berufs vorzüglich die Aufgabe haben, die Resultate derselben in die Praxis einzuführen. Vor allen Dingen ist eine allgemeine Kenntniß der Naturgesetze nöthig, damit man freie Wahl in dem überhaupt anwendbaren Material besitze. Nichts ist irriger, als die Ansicht, daß der Forstmann sich dasjenige, was er aus den Naturwissenschaften bedarf, selbst aussuchen könne. Als gegen Ende des vorigen Jahrhunderts ein Naturforscher durch den electrischen Strom die Schenkel eines Frosches in Zuckungen versetzte, dachte gewiß Niemand daran, daß die nämliche Kraft fünfzig Jahre später es möglich machen würde, einen Gedanken in einer Secunde dreimal um die Erde zu jagen. So findet jedes Naturgesetz zuletzt noch seine Anwendung.

Niemand wird läugnen, daß die Holzerzeugung ein Product der Naturkräfte sei, und daß sie sich vermehren lassen müsse, wenn wir es einmal verstehen, diese Kräfte an den richtigen Angriffspunct zu versetzen. Allein hiezu ist, wie bemerkt, eine umfassende Kenntniß derselben nothwendig.

Bisher haben wir die Abhängigkeit der Waldvegetation von dem Boden und dem Klima nur ganz im Allgemeinen behandelt; jetzt wollen wir dasjenige, was nach dem gegenwärtigen Stande der Naturwissenschaften eine unmittelbare Uebertragung in die forstliche Praxis gestattet, besonders herausheben.

Erster Abschnitt.

Begriff der forstlichen Standortsgüte.

1. Vorbemerkung.

Obgleich der Boden, die Atmosphäre und die Meteore einen großen Einfluß auf das Wachsthum der Holzpflanzen äußern, so kann doch nicht jedem von diesen Factoren eine gleiche Wichtigkeit bei der Beurtheilung der forstlichen Standortsgüte zugeschrieben werden. Wir haben hier vorzüglich diejenigen Factoren zu berücksichtigen, welche zur Erzeugung einer kräftigen Vegetation erforderlich sind, aber sich nicht überall vorfinden. Wenn es sich z. B. darum handelt, die Güte irgend einer Localität zu characterisiren, so werden wir unter den Kriterien der Standortsbeschaffenheit nicht die atmosphärische Luft erwähnen, weil diese ja nirgends fehlt.

Die Beurtheilung der Standortsgüte findet in der practischen Forstwissenschaft vielfache Anwendung, so im Waldbau bei der Auswahl der Holzarten, der Culturmethoden, der Betriebsart, Umtriebszeit, bei der Anlage gemischter Bestände, überhaupt bei der Behandlung und Pflege der Waldungen, dann aber auch in der Forsttaxation bei der Bonitirung, um die künftigen Holzer-

träge von noch nicht haubaren Beständen oder anzubauenden Blößen zu bestimmen.

Setzen wir nun die Wirkungsweise des Bodens, der Atmosphäre und der Meteore als bekannt voraus und fragen wir: durch welche Eigenschaften dieser drei großen Gruppen, welche die Agentien des Gedeihens der Vegetation in sich schließen, wird die Standortsgüte bedingt?

Um diese Frage mit absoluter Sicherheit zu lösen, müssen wir uns ferne von allen theoretischen Speculationen halten, wir müssen unsere Schlüsse blos auf die Beobachtung der Natur gründen.

2. Die wichtigsten Factoren der Bodengüte sind Feuchtigkeit, Tiefgründigkeit, Lockerheit und Humushaltigkeit.

Der Begriff der forstlichen Standortsgüte ist ein relativer; er hängt von den Zwecken ab, zu welchen das Holz erzogen werden soll. So konnte z. B. früher, als krummgewachsene Hölzer zum Schiffbau sehr gesucht waren und theuer bezahlt wurden, ein magerer Boden, auf welchem sich solche Krümmen öfter zu erzeugen pflegen, als gut angesprochen werden, obgleich auf ihm der Massezuwachs gering war. Indessen gehört das eben angeführte Beispiel zu den Ausnahmen; in der Mehrzahl der Fälle wird die Güte eines Bodens danach bemessen, ob auf ihm die Bestände große Massenerträge abwerfen und zugleich ein normales Wachsthum erlangen, so daß sie auch die gewöhnlichen Nutzholzsortimente liefern können.

Alle Beobachtungen geben nun das übereinstimmende Resultat, *daß der größte Massenzuwachs und der regelmäßigste Wuchs des Holzes auf einem solchen Boden erfolgt, welcher tiefgründig, hinreichend locker und humushaltig ist und zugleich einen dem Bedürfniß der betreffenden Holzart entsprechenden Grad von Feuchtigkeit besitzt.*

Es liegt keine einzige Thatsache vor, welche den Beweis lieferte, daß irgend eine Holzart auf einem tiefgründigen, hinlänglich lockern und mit Feuchtigkeit versehenen, humushaltigen Boden ihr Gedeihen nicht gefunden habe, vorausgesetzt, daß ihr die klimatische Beschaffenheit des Standorts nicht entgegen gewesen sei. Die deutsche Forstwirthschaft kennt keine einzige Holzart, welche einen flachgründigen oder trockenen Boden einem tiefgründigen von angemessenem Feuchtigkeitsgehalte vorzöge.

Betrachten wir nun die Wirkung der einzelnen Factoren der Bodengüte etwas genauer.

a. Tiefgründigkeit.

Diese ist den Waldbäumen in mehrfacher Beziehung zuträglich. Sie gestattet den Wurzeln in die Tiefe zu dringen, was namentlich für diejenigen Holzarten wichtig ist, welche, wie z. B. die Eiche und Tanne, eine Pfahl-

wurzel bilden und in der Regel keine bedeutenden Höhen erreichen, wenn die Entwicklung dieser Wurzel gehemmt ist. Indessen hat man Beispiele, daß diese Holzarten auch auf einem flachgründigen Boden noch ein ansehnliches Längewachsthum erlangen, wenn nur der Boden hinreichend mit Feuchtigkeit versehen ist.

Die Tiefgründigkeit begünstigt die Waldvegetation auch noch aus dem Grunde, weil sie dieser eine nachhaltige Bezugsquelle von Feuchtigkeit eröffnet.

Es ist durchaus irrig, anzunehmen, die flachwurzelnden Holzarten liebten einen flachgründigen Boden. Selbst die Fichte und die Buche, welche doch gewiß eine flache Bewurzelung besitzen, gedeihen am besten auf einem tiefgründigen Boden.

Den flachgründigsten Boden liefert gewöhnlich der plastische Thon; seine zähe Beschaffenheit, welche nur an der Oberfläche durch die Humusbildung etwas ermäßigt wird, hindert die Wurzeln, in die Tiefe zu dringen. Deßwegen eignet sich dieser Thon am wenigsten zur Erziehung von Eichenhochwaldungen. Die nämlichen Nachtheile besitzt der Raseneisenstein, wenn er in zusammenhängenden Platten dicht unter der Oberfläche des Bodens lagert; fast eben so ungünstig für die Waldvegetation zeigen sich die in der Molassegruppe vorkommenden Kieslager, wenn die einzelnen Brocken durch ein eisenhaltiges Cement verbunden sind.

Die Tiefgründigkeit des Bodens hängt gewöhnlich von der Lage ab. Auf ebenem Terrain, in Thälern, Mulden und Klingen werden oder wurden die feineren Erdtheilchen zusammengeschwemmt. Die Abhänge der Hügel und Berge sind viel öfter flachgründig, weil die Meteorwasser fortwährend die Erde ablösen und sie nach den unteren Regionen entführen.

b. Lockerheit.

In einem lockeren Boden erzeugt sich bei hinreichendem Feuchtigkeitsgehalte ein Maximum von Zaserwurzeln, welche den Pflanzen Wasser, Kohlensäure und die Aschenbestandtheile zuführen. Deßwegen finden wir den größten Masse- und namentlich auch den größten Höhezuwachs auf Schwemmboden, welcher nach der Art seiner Entstehung sehr fein zertheilt sein muß. Daher rührt die Fruchtbarkeit des Teichschlamms, der Marschen an den Küsten des Meeres ꝛc. Die herrliche Baumvegetation, welche man auf frischem (schwitzendem) Sand findet, ist der Lockerheit (und Tiefgründigkeit) desselben beizumessen.

Obgleich die höchsten Masseerträge, welche bis jetzt beobachtet wurden, nur einem Boden von gehöriger Lockerheit zukommen, so unterliegt es doch keinem Zweifel, daß die Bestände auch noch auf einem Boden, welcher blos tiefgründig ist und das zureichende Maß von Feuchtigkeit besitzt, sehr schöne Erträge abwerfen können. Dies ist z. B. bei einem Boden, der aus zerklüfteten Felsen besteht, und bei den sog. Felsenmeeren oft der Fall. Aber niemals

erreicht der Zuwachs auf diesen Localitäten den hohen Betrag, welcher sich auf einem Boden ergibt, der neben der Tiefgründigkeit und Feuchtigkeit auch Lockerheit besitzt.

Uebrigens dürfen wir nicht vergessen, zu erwähnen, daß eine allzu große Lockerheit des Bodens den Holzpflanzen in der Jugend unter Umständen auch nachtheilig werden kann. Sie begünstigt nämlich die Vermehrung der schädlichen Maikäferlarven (Engerlinge) und in nassen Lagen das Ausfrieren der Pflanzen bei raschem Aufthauen des gefrornen Bodens. Allein diese Nachtheile verschwinden später wieder, und werden dann durch den Vortheil der größern Massenerzeugung überwogen.

c. **Feuchtigkeit.**

Die Ansprüche, welche die Holzarten in Bezug auf die Feuchtigkeit machen, sind außerordentlich verschieden.

Die Mehrzahl unserer Waldbäume gedeiht am besten auf einem blos frischen Boden, die Esche dagegen auch noch in feuchten Lagen, und die Erle verlangt geradezu einen nassen Boden. Trockenheit des Bodens sagt keiner Holzart zu, doch wird sie noch am ersten von der Kiefer und der Birke ertragen. Die Vogelbeere (Eberesche) ist die einzige Holzart, welche an ihrem Vorkommen an keinen bestimmten Feuchtigkeitsgrad des Bodens gebunden zu sein scheint, doch gedeiht sie am besten auf einem blos frischen Erdreich.

Es ist noch vielfach die irrige Ansicht verbreitet, die Kiefer liebe einen trockenen Boden. Man hat hier unrichtiger Weise aus der Art ihres Vorkommens auf ihr Feuchtigkeitsbedürfniß im Allgemeinen geschlossen. Wenn die Kiefer sich häufig auf trockenen Standorten in großen Beständen findet, so beruht dies blos auf dem Umstande, daß ihr keine andere Holzart auf solche Localitäten zu folgen vermag. Wer sich davon überzeugen will, daß die Kiefer in frischen Lagen den größten Masseertrag liefert, möge nur ihre Wachsthumsverhältnisse auf den trockeneren Parthien des Sandes der Norddeutschen Ebene mit denjenigen auf dem Lehmboden des Vogelsgebirges oder auf dem schwitzenden Sande der Main-Rheinebene vergleichen.

Der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens hängt vornehmlich von zwei Umständen ab: nämlich von seiner Zusammensetzung und von seiner Lage. Der Boden in Vertiefungen (z. B. Mulden, Klingen, Thälern, Niederungen an Flüssen, Seeen und am Meere) und auf Nordseiten enthält gewöhnlich mehr Feuchtigkeit, als derjenige auf Bergrücken und auf östlichen und südlichen Expositionen. Daher kommt es denn, daß auf den erstgenannten Localitäten das Holz durchschnittlich viel besser gedeiht, als auf den letzteren. Leider mangelt es noch sehr an Zahlen, um den Unterschied der Exposition und Abdachung quantitativ nachzuweisen; indessen kann der Verf. das Resultat wenigstens einer Untersuchung bieten, welche er in dieser Beziehung angestellt hat. Er bestimmte im Jahr 1851 durch specielle Holzmassenaufnahme den Durch-

schnittszuwachs eines 59jährigen Buchenbestandes auf dem Bölzersberg, einer der höheren Kuppen des Hessischen Rodhargebirges, und fand das Verhältniß des Zuwachses an Schaftholz auf Südseite, Rücken zu Südseite, Mulde zu Nordseite = 16 : 39 : 48. Gewöhnlich findet man auch, daß der Boden auf den Nordseiten tiefgründiger ist, dies rührt daher, weil die Feuchtigkeit die Zersetzung der Gesteine befördert.

Häufig wird der bessere Wuchs des Holzes auf den Nordseiten der geringeren Temperatur, welche dieser Exposition eigen ist, zugeschrieben; man liest von manchen Holzarten in den Lehrbüchern der Forstbotanik, sie liebten kühle Lagen; diese Ansicht erstreckt sich namentlich auf diejenigen Bäume, welche ursprünglich im Gebirge oder im hohen Norden zu Hause sind. Wie wir aber schon früher ausgeführt haben, spricht Alles gegen die Annahme, daß die Wärme als solche den Holzarten schädlich sei; sie wird es nur dadurch, daß sie die Feuchtigkeit aufzehrt. Alle Thatsachen sprechen dafür, daß die Wärme, wenn hinlänglich Feuchtigkeit vorhanden ist, den Holzwuchs eben sowohl unterstützt, als sie der übrigen Vegetation zuträglich ist. Von diesem Satze kann man sich am besten überzeugen, wenn man das Wachsthum der Bestände an solchen südlichen Hängen, welche durch Ueberrieselung frisch erhalten werden, beobachtet.

Auch die natürliche Verjüngung der Bestände geht auf den Nordseiten gewöhnlich besser von Statten, als auf den übrigen Expositionen. Wenn z. B. an den Böschungen der Chausseen Birken, Fichten, Kiefern ꝛc. anfliegen, so ist immer die nördliche Seite voller bestanden.

In trocknen Lagen zeigt sich auf Böden mit großer wasserhaltender Kraft (z. B. Lehm) stets eine kräftigere Vegetation, als auf solchen Bodenarten, welche zum Austrocknen geneigt sind; indessen darf man nicht annehmen wollen, daß jene Eigenschaft eine unerläßliche Bedingung für das Gedeihen der Pflanzen sei. Wenn die Lage eines Bodens von der Art ist, daß ihm immer das erforderliche Maß von Feuchtigkeit zugeführt wird, dann bleibt es ganz gleichgültig, ob er die Fähigkeit besitze, das aufgenommene Wasser lange an sich zu halten. Deßwegen können z. B. auf lockerem Sandboden in Mulden ꝛc. die schönsten Bestände erzogen werden.

Felsen und Steine, welche den Boden bedecken, erschweren zwar oft die Vornahme der Culturen, begünstigen aber das Wachsthum der Bäume dadurch, daß sie den Boden gegen Austrocknung schützen. Oft sieht man auf Localitäten, welche fast nur Steine enthalten, die herrlichsten Bäume wachsen. Der Verf. kennt eine Gegend, in welcher die Landleute einstmals versuchten, ihre Felder durch Entfernung der Steine, welche auf denselben in großer Zahl lagen, fruchtbarer zu machen; zu ihrem Nachtheil mußte sie aber gewahren, daß das Gegentheil eintrat; die Frucht mißrieth fortwährend, und sie sahen sich genöthigt, die Steine wieder an ihre Stelle zu schaffen.

Die Bodenfeuchtigkeit kann durch die Luftfeuchte ersetzt werden. Letztere

ist namentlich denjenigen Holzarten sehr zuträglich, welche, wie z. B. die Buche, zu starker Blattausdünstung geneigt sind. Daher schreibt sich u. A. das treffliche Gedeihen der Buchen im Vogelsgebirge, in den mittlern Regionen des Schwarzwaldes u. s. w. Vielleicht läßt es sich auch hierdurch erklären, warum die Buche im mittlern Deutschland mehr die Vorberge, als die Ebenen bewohnt.

Die gefährlichsten Feinde der Bodenfeuchtigkeit sind die Sonne und die Winde, namentlich die trocknen Ostwinde. Die meist geringe Standortsgüte der Süd- und der Ostseiten wird durch diese beiden Umstände bedingt.

Stagnirende Nässe sagt, außer der Erle, keiner Holzart zu; und auch jene, sowie die Weiden gedeihen besser an fließendem Wasser.

d. Humushaltigkeit.

Der Humus ist keine unerläßliche Bedingung für das Gedeihen der Waldvegetation; diese erreicht auch schon dann einen hohen Grad von Vollkommenheit, wenn nur Tiefgründigkeit, Lockerheit und Feuchtigkeit vorhanden sind. In der Biermansschen Rasenasche erzieht man die schönsten Pflanzen, nachdem der Boden durch das Brennen seinen Humusgehalt vollständig verloren hat.

Aber der Humus wird da sehr wichtig, wo eine der drei genannten Bedingungen der Bodengüte fehlt. Denn durch eine hinreichende Schichte Humus gewinnt der Boden an Tiefgründigkeit und Lockerheit, auch besitzt der Humus die Fähigkeit, die meteorischen Niederschläge leicht aufzunehmen und sie lange an sich zu halten. Als schlechter Wärmeleiter schützt er überhaupt den Boden gegen Austrocknung.

Figur 172.



Indessen zeigen sich nur diejenigen Humusarten wohlthätig für die Vegetation, welche sich bei vollständigem Zutritt der Luft gebildet haben, nicht allzu locker sind, und keine wachsartigen Bestandtheile enthalten. Die eigentlichen Humussäuren, welche niemals in fruchtbarer Erde, sondern nur in Torfmooren, Sümpfen rc. vorkommen, sind der Waldvegetation stets nachtheilig. Das Nämliche gilt von der wegen ihrer lockern Beschaffenheit zu starker Austrocknung geneigten sogenannten Stauberde (die sich vorzüglich aus Cladonia rangifarina bildet) und von dem wachshaltigen Haide- und Haidelbeerhumus.

Humus, welcher stark mit Gerbsäure imprägnirt ist, verhält sich gegen die Vegetation in ähnlicher Weise, wie reine Humussäure; das Vorkommen dieser beiden Säuren ist auch an die nämlichen äußern Umstände geknüpft, denn die Gerbsäure bleibt nur dann längere Zeit unverändert, wenn sie durch Wasser vor dem Sauerstoff der Atmosphäre geschützt ist — im andern Fall würde sie rasch in Gallussäure übergeführt werden.

Wie oben angedeutet wurde, suchen wir die Nützlichkeit des Humus für die Vegetation vorzüglich in seinen physikalischen Eigenschaften, indessen wollen wir nicht verkennen, daß auch seine chemischen Wirkungen Beachtung verdienen. Nach den Versuchen von Wiegmann und Polstorff können die Pflanzen diejenigen anorganischen Stoffe, welche man in ihrer Asche findet, nicht entbehren; ohne dieselben würden sie ihre normale Entwicklung nicht erreichen. Sicherlich werden aber diese anorganischen Stoffe den Pflanzen am vollkommensten durch den Humus geliefert, denn letzterer hat sich ja aus Vegetabilien gebildet, er enthält die Aschenbestandtheile in dem Verhältniß, in welchem sie die Pflanzen bedürfen, und dazu noch in einer leicht aufschließbaren Form. Uebrigens darf auf die anorganischen Elemente des Humus nicht allzuviel Gewicht gelegt werden; wie später nachgewiesen werden soll, ist der Aschegehalt der Waldbäume sehr gering, auch hat die Beobachtung gezeigt, daß unsere Holzarten noch ganz vortrefflich auf Bodenarten gedeihen, welche verhältnißmäßig arm an anorganischen Substanzen sind.

Eine größere Bedeutung könnte man schon dem Kohlenstoffgehalte des Humus beimessen. Die Kohlensäure, welche sich aus dem in Zersetzung begriffenen Humus entwickelt, liefert, wie früher gezeigt wurde, einen nicht unwesentlichen Zuschuß zu dem ursprünglichen Kohlensäure-Gehalte der Atmosphäre; sie wird theils als directes Nahrungsmittel benutzt, theils dient sie zum Aufschlusse der anorganischen Bestandtheile des Bodens. Dagegen spielen die löslichen Modificationen des Humus in Bezug auf die Ernährung der Waldbäume eine ganz untergeordnete Rolle; wir haben sogar Grund, anzunehmen, daß die Humussäuren der Vegetation nachtheilig sind, denn überall da, wo diese Säuren in reichlichem Maße vorkommen, bemerken wir ein schlechtes Gedeihen der Waldvegetation. Selbst solche Humussäure, welche durch Austrocknen oder Gefrieren ihre Löslichkeit verloren hat, besitzt noch manche nachtheilige Eigenschaften; sie schwindet stark beim Trocknen und hebt sich, wenn das in ihr enthaltene Wasser gefriert. Das sogenannte Ausfrieren der Pflanzen kommt am häufigsten auf dem an unlöslicher Humussäure reichen Torf- und Moorboden vor.

Den vorzüglichsten Humus liefern die abgefallenen Blätter und Zweige der Bäume; in Nadelholzbeständen tragen die Moose, welches sich auf dem Boden erzeugen, so lange der Baumkronenschuß weder allzu dicht, noch allzu licht ist, sehr wesentlich zur Humusbildung bei. Während der untere Theil ihrer Stengel verwest, treiben sie wieder aufwärts neue Wurzelhaare und ver-

längern sich an den Spitzen. Die vorzüglichsten Moose gehören der Gattung Hypnum (Astmoos) an. Wir nennen von dieser die Arten: H. purum, splendens, Schreberi, triquetrum, praelongum, loreum, brevi- et longirostre, crista-castrensis (letzteres mehr im Gebirg, als in der Ebene vorkommend), myurum; auf feuchteren Stellen finden sich H. cupressiforme, tamariscinum, squarrosum, undulatum, auf trockneren: H. rugosum, lutescens, abietinum. Aus der Gattung Dicranum kommen die Arten scoparium, majus und undulatum den eben genannten Hypnum-Arten in ihren Eigenschaften ziemlich gleich. Von den Lebermoosen sind Jungermannia asplenoides, nemorosa, trilobata, albicans gleichfalls nützlich. Die auf nassem Boden wachsenden Arten von Hypnum, wie H. cuspidatum, nitens, trifarium, aduncum, filicinum, Dicranum glaucum, verschiedene Arten von Polytrichum, Mnium, Sphaynum, Bryum, Climacium begünstigen die Torfbildung und verschließen den Boden der natürlichen Besamung, wirken also mehr schädlich. (Ausführlicheres findet man in C. Heyers Beiträgen II, 18 ff.)

3. Andere Ansichten über die Factoren der Bodengüte.

In dem Vorhergehenden haben wir nachzuweisen gesucht, daß die Güte des Bodens in forstlicher Beziehung, namentlich was die Erzeugung des höchsten Masseertrages anlangt, von seinem Feuchtigkeits- und Humusgehalt, seiner Tiefgründigkeit und Lockerheit abhänge. Wir haben hiermit selbstverständlich ausgesprochen, daß die chemische Zusammensetzung, sowie die geognostische Abstammung des Bodens nur in so fern über die Güte desselben entscheiden, als sie auf die vorhin genannten Factoren influiren. Da aber andere Schriftsteller die Bodengüte entweder blos nach dem chemischen Bestand oder nach der geognostischen Abstammung bemessen haben wollen, so müssen wir diese von den unsern abweichenden Ansichten etwas näher betrachten.

a. Bedeutung der mineralisch-chemischen Zusammensetzung des Bodens für die Waldvegetation.

Es ist im XIten Buch, S. 353 bis 354 gezeigt worden, daß die anorganischen Bestandtheile des Bodens für die Vegetation absolut nothwendig sind. Wir erinnern an die Versuche von Wiegmann und Polstorff. Diese beiden Naturforscher säeten verschiedene Gewächse in reinen Sand, welcher durch Säuren seines Gehaltes an löslichen Mineralsubstanzen vollständig beraubt worden war; es ergab sich, daß die Pflanzen sich nur schwach entwickelten und keine keimfähigen Samen ansetzten.

Es sind weiter die Liebig'schen Theorien angeführt worden, welche es sehr wahrscheinlich machen, daß die anorganischen Bestantheile des Bodens die Ueberführung der Kohlensäure in Holzfaser vermitteln. Die Landwirthe wenden schon seit langen Jahren Düngstoffe an, welche rein anorganischen Ursprungs sind, und, wie die Erfahrung gelehrt hat, die Erträge der Felder bedeutend erhöhen. Wir nennen von diesen Substanzen beispielsweise nur

den gebrannten Kalk, den Chilisalpeter und den Gyps. Die günstige Wirkung des letzteren auf den Klee und die übrigen Leguminosen ist genugsam bekannt.

Nach allem Diesem könnte es den Anschein gewinnen, als ob die Güte des Bodens vorzugsweise von seinem Gehalt an löslichen anorganischen Stoffen abhängig sei.

Ohne Zweifel spielen die anorganischen Bestandtheile des Bodens in der Landwirthschaft eine sehr wichtige Rolle. Dagegen sind sie für die Forstwirthschaft von weit geringerer Bedeutung. Zu diesem Schlusse gelangt man in der That, wenn man die Betriebsoperationen der Agricultur mit denen der Forstwirthschaft vergleicht, wenn man den Unterschied berücksichtigt, welcher in Bezug auf die Menge der Erndte und die Zusammensetzung der von diesen beiden Gewerben erzeugten Producte besteht.

Um seinem Felde den höchsten Ertrag abzugewinnen, wendet der Landwirth eine Reihe von Operationen an, deren Zweck hauptsächlich darin besteht, die löslichen anorganischen Bestandtheile des Bodens zu vermehren.

α. Die Düngung. Die Gewächse, welche den Gegenstand des Ackerbaues bilden, sind durch die fortgesetzte Cultur in einen Zustand gebracht worden, welcher von ihrem ursprünglichen bedeutend abweicht. Die Mehrzahl dieser Gewächse dient zur Nahrung der Menschen, ein geringerer Theil wird für die Kleidung, Beleuchtung und industrielle Zwecke angezogen. Bei allen diesen Pflanzen sucht man denjenigen Theil, welchen man für den werthvollsten hält, vorzugsweise auszubilden. Die dicke Aehre der Cerealien ist erst im Laufe der Zeit durch die Cultur entstanden, denn in Asien, ihrem Vaterlande, unterscheiden sich unsere Getreidearten, was den Habitus anlangt, nicht von den gewöhnlichen Gräsern. Die Kartoffel erzeugt in Chili, wo sie heimisch ist, nur erbsengroße Knollen; nach Darwin soll der Ertrag eines ganzen Ackers kaum hinreichen, um das Leben einer Irischen Familie nur einen Tag zu fristen.

Unter den Forstwirthen herrscht noch vielfach die Ansicht, daß die Agricultur weniger Kohlenstoff produzire, als die Forstwissenschaft. Diese Meinung beruht auf einem Irrthum. Boussingault erndtete auf seinem Gut zu Bechelbronn im Elsaß, bei mittelmäßiger Bodengüte, im Durchschnitt von 16 Jahren jährlich 1720 Kilogramme Kohlenstoff pro Hectare — ein Ertrag, den wir nur von Nadelholz-, niemals Laubholzwaldungen erzielen. Der Gehalt an Stickstoff und Asche ist aber bei den Agriculturgewächsen viel größer, als bei dem Holze. Boussingault erndtete im Durchschnitt von 16 Jahren jährlich 53 Kilogramme Stickstoff und 214 Kilogramme an anorganischen Substanzen, während der Wald jährlich nicht viel mehr, als 30 Kilogramme Stickstoff und etwas über 50 Kilogramme an Aschenbestandtheilen zu produziren vermag.

Bei der Landwirthschaft bleibt die Erzeugung von Getreide immer der Hauptzweck des Gewerbes. Das Stroh ist durch seinen Gehalt an Mineral-

bestandtheilen, die Körner sind durch ihren Reichthum an stickstoffhaltigen Substanzen (Albumin, Fibrin, Caseïn) ausgezeichnet. Auf den letztern beruht vornehmlich der Nahrungswerth des Getreides.

Wenn es nun zwar der Cultur im Laufe der Zeit gelungen ist, gewisse Theile der landwirthschaftlichen Gewächse zu einer abnormen Größe heranzubilden und dadurch den Ertrag des Feldes an den werthvollen Stoffen, welche jene Theile enthalten, bedeutend zu erhöhen, so kann es sich auf der andern Seite nicht fehlen, daß das Gelände durch den wiederholten Anbau jener Gewächse zuletzt ausgesogen wird. Um diesem Nachtheil zu begegnen, um stets wieder neue Erndten von eben so großem Belang, als die früheren zu erhalten, hat man sich genöthigt gesehen, diejenigen Stoffe dem Boden wieder zu ersetzen, welche ihm durch die Gewächse entzogen werden. Es geschieht dies durch die Düngung.

Seit frühester Zeit hat man mit dem besten Erfolge die Excremente der Thiere zur Düngung angewandt. Diese Excremente enthalten in der That zum größeren Theil diejenigen Stoffe, deren der Acker durch die verfütterten Gewächse beraubt worden ist. Das Einzige, was bei der Ernährung der Animalien zum Theil verloren geht, ist Kohlenstoff und Wasserstoff; allein diese sind in Bezug auf die Düngung von geringer Bedeutung, da jener von der Kohlensäure der Luft und dieser von dem Wasser in hinreichender Menge geliefert werden kann.

Zur nähern Begründung des Vorstehenden möge Folgendes dienen: Die Pflanzen, welche den Thieren und Menschen zur Nahrung dienen, werden theils verdaut und gehen dann in das Blut über, theils werden sie aber sogleich als unassimilirbar durch die Excremente ausgeschieden. Die nahrungsfähigen Pflanzenstoffe, welche zur Blutbildung sich eignen, zerfallen in zwei Klassen, in stickstoffhaltige und stickstofffreie. Erstere haben genau die Zusammensetzung der Muskelfaser und dienen dazu, dieselbe zu erzeugen. Bei jeder körperlichen Bewegung tritt nämlich ein Theil der Muskelfaser durch das Blut in die Excremente über und wird durch diese, vorzüglich in der Form von Harn, aus dem Körper ausgestoßen. Soll das Thier, oder der Mensch zu neuer Kraftäußerung fähig gemacht werden, so muß ein entsprechender Wiederersatz des ausgetretenen Theils der Muskelsubstanz stattfinden; dies geschieht bei den pflanzenfressenden Thieren durch den Genuß der stickstoffhaltigen Bestandtheile der Vegetabilien, bei dem Menschen sowohl durch letztere, als auch durch Fleischnahrung. — Die assimilirbaren stickstofffreien Materien der Pflanzen (Stärkemehl, Dextrin, Fett ꝛc.) werden zur Unterhaltung des Athmungsprozesses verbraucht; der durch die Lungen eingenommene Sauerstoff der Luft verbindet sich mit dem Kohlenstoff und dem Wasserstoff des Blutes, und es treten Kohlensäure und Wasserdampf durch die Lunge aus.

Man sieht also, daß, mit Ausnahme des zum Athmen dienenden

Kohlenstoffs und Wasserstoffs, auch diejenigen Theile der Pflanzen, welche von dem Körper assimilirt werden, nach Verfluß einer gewissen Zeit den Excrementen anheim fallen. Der thierische Dünger enthält demnach Alles, was die landwirthschaftlichen Pflanzen zu ihrem Gedeihen bedürfen.

Da der thierische Dünger verhältnißmäßig hoch im Preise steht, so hat man versucht, ihn durch andere wohlfeilere Stoffe zu ersetzen. Von dieser Art ist z. B. der Liebig'sche Patentdünger. Indessen kommt der letztere, wie die Erfahrung gelehrt hat, in seiner Wirkung dem thierischen Dünger nicht gleich. Die Ursache liegt entweder darin, daß er zu wenig Stickstoff enthält, oder daß es Liebig noch nicht gelungen ist, die einzelnen Bestandtheile des Patentdüngers in derjenigen Form darzustellen, in welcher ihn die Pflanzen behufs der Assimilation verlangen.

β. Die Beackerung. Die wildwachsenden Pflanzen entnehmen dem Boden so viel von seinen löslichen Bestandtheilen, als deren im Umkreise der Wurzeln durch die Verwitterung zum Aufschluß gelangen. Je leichter aufschließbar der Boden ist, um so üppiger gedeihen diese Pflanzen. Die Agriculturgewächse reichen, in der Mehrzahl der Fälle, mit dem natürlichen Gehalt des Bodens an löslichen Nahrungsstoffen nicht aus; man führt deßhalb diese Stoffe in einer zum Aufsaugen durch die Wurzeln geeigneten Form mittelst des Düngers zu. In dem Verbrauche des letztern läßt sich aber dadurch eine Ersparniß bewirken, daß man künstliche Mittel anwendet, um den Aufschluß der mineralischen Bestandtheile des Bodens zu befördern. Dies geschieht durch die mechanische Bearbeitung desselben. Sie hat zum Zweck, die Oberfläche der Bodentheilchen zu vergrößern, damit die Agentien der Verwitterung, und unter diesen namentlich die Kohlensäure, mehr Berührungspuncte mit der Ackerkrume finden. Um Wiederholungen zu vermeiden, verweisen wir wegen dieses Gegenstandes auf den Vorbereitenden Theil, S. 77.

Wir sind übrigens weit davon entfernt, behaupten zu wollen, daß die Beackerung nur zu dem vorbezeichneten Zwecke diene. Man nimmt sie auch noch in der Absicht vor, um das Eindringen der Wurzeln und deren Verbreitung zu begünstigen, um die Absorption von Wasserdampf und Ammoniak zu befördern.

γ. Die Brache. Wenn es an dem nöthigen Dünger fehlt, um dem Felde die Stoffe, welche es durch den Anbau von Gewächsen verloren hat, sogleich wieder zu ersetzen, so sieht man sich gezwungen, die Cultur einige Zeit ruhen, oder, wie man sich ausdrückt, den Boden brach liegen zu lassen, damit sich in Folge des Verwitterungsprozesses wieder ein Vorrath von assimilirbaren Nahrungsstoffen in der Ackererde ansammeln kann. Die Zeit der Brache läßt sich dadurch abkürzen, daß man den Boden bearbeitet, d. h. die Verwitterung befördert.

δ. Die Wechselwirthschaft. Chemische Analysen haben das Resultat geliefert, daß der Aschengehalt der Gewächse nicht allein quantitativ, sondern auch qualitativ verschieden ist; indem man die Aschen von ganzen

Erndten berechnete, fand man, daß die Pflanzen dem Boden ungleiche Mengen der verschiedenen Aschebestandtheile entziehen.

Nach ihrem prozentischen Aschengehalte hat Liebig die Agriculturgewächse in drei Gruppen gebracht, in Kiesel-, Kalk- und Kalipflanzen. Er gibt darüber folgendes Schema:

		Kali- u. Natron-Salze	Kalk- u. Bittererde-Salze	Kieselerde
Kiesel-Pflanzen	Haferstroh	34.00	4.00	62.00
	Waizenstroh	22.00	7.00	61.05
	Gerstenstroh mit Samen	19.00	25.70	55.03
	Roggenstroh	18.65	16.52	63.89
Kalk-Pflanzen	Tabak, Havanna	24.34	67.44	8.30
	" Deutscher	23.07	62.23	25.25
	" in künstl. Boden	29.00	59.00	12.00
	Erbsenstroh	27.82	62.74	7.81
	Kartoffelkraut	4.20	59.40	36.40
	Wiesenklee	39.20	56.00	4.90
Kali-Pflanzen	Maisstroh	71.00	6.50	18.00
	Weiße Rüben	81.60	18.40	—
	Runkelrüben	88.00	12.00	—
	Kartoffelknollen	85.81	14.19	—
	Topinambour	84.30	15.70	—

Nun kann aber die prozentische Zusammensetzung der Aschen für sich allein nicht darüber entscheiden, ob eine Pflanze den Boden mehr aussauge, als eine andere; man muß zu diesem Zwecke den Aschegehalt ganzer Erndten berechnen. Die folgende, von Wolff mitgetheilte Tabelle enthält eine derartige Zusammenstellung.

	Ertrag pr. Hectare	Gehalt der Erndteerträge an: Stickstoff	Asche	Phosphorsäure	Kali	Kalk u. Magnesia	Kieselsäure
	Kil.	Kil.	Kil.	Kil.	Kil.	Kil.	Kil.
Waizen							
Körner	2000	36.8	35.0	16.9	10.5	6.0	0.5
Stroh	5000	15.0	225.0	9.2	42.1	12.4	158.6
	7000	51.8	260.0	26.1	52.6	18.4	159.1
Roggen							
Körner	1600	30.6	27.7	13.1	9.3	4.0	0.6
Stroh	3800	13.3	152.0	4.0	29.6	10.0	101.1
	5400	43.9	179.7	17.1	38.9	14.0	101.7
Gerste							
Körner	2300	39.3	63.3	21.8	13.2	5.4	18.4
Stroh	4000	12.0	180.0	7.2	47.2	16.2	96.3
	6300	51.3	243.3	29.0	60.4	21.6	114.7

	Ertrag pr. Hectare Kil.	Stickstoff Kil.	Asche Kil.	Phosphorsäure Kil.	Kali Kil.	Kalk u. Magnesia Kil.	Kieselsäure Kil.
Hafer							
Körner	2000	37.4	70.0	17.5	11.2	7.7	29.4
Stroh	4000	12.0	240.0	7.7	62.8	24.0	130.0
	6000	49.4	310.0	25.2	74.0	31.7	159.4
Saubohnen							
Körner	2000	82.2	63.8	21.8	28.7	8.7	0.4
Stroh	3000	36.0	150.0	15.0	36.0	54.0	15.0
	5000	118.2	213.8	36.8	64.7	62.7	15.4
Erbsen							
Körner	1500	53.1	37.7	11.4	16.6	6.0	0.6
Stroh	3000	53.7	150.0	11.3	40.5	54.0	6.0
	4500	106.8	187.7	22.7	57.1	60.0	6.6
Wicken							
Körner	1500	65.3	45.0	15.3	18.5	5.9	—
Stroh	3000	51.0	165.0	14.9	33.0	75.9	12.2
	4500	116.3	210.0	30.2	51.5	81.8	12.2
Raps							
Körner	2400	80.0	96.0	41.3	24.8	26.8	1.2
Stroh	4500	13.5	189.0	11.3	58.6	56.7	7.6
	6900	93.5	285.0	52.6	83.4	83.5	8.8
Runkelrüben	40000	96.0	384.0	23.0	172.6	43.8	21.5
Blätter	10000	28.0	188.0	12.2	75.2	30.1	13.2
	50000	124.0	572.0	35.2	247.8	73.9	34.7
Kartoffeln	20000	82.0	204.0	23.1	105.1	14.7	11 4
Kleeheu	6000	130.8	390.0	24.6	105.7	120.9	20.7
Wiesenheu	4000	53.2	246.4	13.3	57.9	61.9	77.6

Nach diesen Tabellen lassen sich deutlich vier Gruppen unterscheiden: Kieselpflanzen, zu denen die Gräser und Cerealien; Kalkpflanzen, zu denen die Leguminosen; Phosphorpflanzen, zu denen die Oelgewächse (Raps), Kalipflanzen, zu denen die Hackfrüchte gehören. Im Wesentlichen bleibt also das Vermögen, dem Boden bestimmte Bestandtheile zu entziehen, das nämliche, mag man blos die prozentische Zusammensetzung der Aschen, oder die vollen Erndteerträge vergleichen.

Denken wir uns nun, der Boden sei durch den Anbau von Waizen seines Gehaltes an löslicher Kieselsäure beraubt worden, so wird er doch noch zum Anbau von Erbsen tauglich sein, denn diese brauchen nur wenig Kieselsäure, aber desto mehr Kalk. Hat der Boden sich an diesem erschöpft, so kann

man Rüben bauen ꝛc. So gibt die Abwechselung mit den zu erziehenden Pflanzen ein Mittel an die Hand, um dem Boden fortwährend gute Erndten abzugewinnen. Durch die Wechselwirthschaft wird aber auch die reine Brache entbehrlich gemacht, denn man kann während der Brachzeit eine Pflanzenart bauen, welche blos solche Stoffe braucht, deren die später cultivirenden Gewächse nicht bedürfen. Es versteht sich von selbst, daß nach Vollendung einer Rotation eine Düngung eintreten muß, weil jetzt der Boden gänzlich erschöpft ist.

Die so eben dargestellte Theorie der Wechselwirthschaft gründet sich wesentlich auf den qualitativen und quantitativen Unterschied in dem Aschegehalt der Gewächse. Diese Theorie, als deren Begründer Liebig genannt werden muß, ist indessen in neuerer Zeit angefochten worden. Man hat ihre Richtigkeit aus dem Grunde bezweifelt, weil es nicht gelingen wollte, die Bodenkraft durch Düngung mit denjenigen anorganischen Stoffen, welche ihm durch irgend eine Pflanzenspecies entzogen worden sind, wieder herzustellen. Wenn es z. B. der Mangel an Kieselsäure ist, sagte man, welche uns verbietet, zweimal hinter einander Waizen zu bauen, so muß letzteres doch zulässig sein, wenn man nach der ersten Waizenerndte dem Boden die fehlende Kieselsäure künstlich zuführt. Allein alle Düngungsversuche mit künstlich dargestellter Kieselsäure sind fehlgeschlagen, folglich kann es nicht der Entzug von Kieselsäure sein, wodurch der Boden nach dem Anbau von Waizen erschöpft wird.

Die Theorie der Wechselwirthschaft, welche Wolff der Liebig'schen entgegenstellt, gründet sich auf die Annahme, daß der Mangel an Stickstoff die Hauptursache der Bodenerschöpfung sei. Er unterstellt, einigen Pflanzen, wie z. B. den Hackfrüchten und dem Klee, komme vorzugsweise das Vermögen zu, den Stickstoff der Atmosphäre mittelst der Blätter sich anzueignen, während andere Pflanzen, z. B. die Cerealien mehr darauf angewiesen seien, den im Boden enthaltenen Stickstoff durch die Wurzel aufzunehmen. Die letztgenannten Pflanzen seien diejenigen, welche den Boden am meisten angriffen.

Obgleich die Wolff'sche Ansicht Vieles für sich hat, so bleibt sie nichts desto weniger eine Hypothese, deren Bestätigung durch Versuche erst abgewartet werden muß. Ganz abgesehen von der obschwebenden Streitfrage ist es aber doch gewiß, daß die Wechselwirthschaft durch den einseitigen Entzug von Bestandtheilen des Bodens hervorgerufen wird.

Stellen wir die Landwirthschaft mit der Forstwirthschaft in Parallele, so fällt uns auf, daß die letztere besteht, ohne die in der Landwirthschaft gebräuchlichen Betriebs-Operationen und Maßnahmen in Anwendung zu bringen. Abgesehen von einzelnen Ausnahmen findet bei der Waldwirthschaft die Bodenbearbeitung nur zu dem Zwecke statt, um die Samen unterzubringen. Man will dieselben durch die Bedeckung der Erde gegen die Nachstellungen von Thieren, gegen Frost, Austrocknung ꝛc. schützen. Obgleich nicht geleugnet

werden kann, daß die Feuchtigkeit eines festen Waldbodens durch Lockerung sich vermehren läßt, so steht doch auf der andern Seite das fest, daß die Waldwirthschaft ohne die regelmäßig wiederkehrende Bearbeitung des Bodens sich erhalten kann.

Auch die künstliche Düngung wird bei der Waldwirthschaft im Großen nicht in Anwendung gebracht. Doch darf nicht übersehen werden, daß der Forstwirth die erzogenen Gewächse nicht so rein aberndtet, als dies von Seiten des Landwirths geschieht. Wir lassen dem Boden die abgefallenen Nadeln und das abgefallene Baumlaub, Substanzen, welche verhältnißmäßig reich an anorganischen Bestandtheilen sind.

Eine regelmäßige Brache ist in der Waldwirthschaft gleichfalls nicht bekannt. Wir erziehen die Bestände ohne Unterbrechung; oft ist der Nachwuchs schon vorhanden, ehe die Mutterbäume entfernt worden sind.

Ebenso hat die Erfahrung gelehrt, daß ein regelmäßiger Wechsel der Holzarten nicht nöthig erscheint. An vielen Orten werden Buchen-, Fichten-, Tannen- u. s. w. Wälder seit Jahrhunderten ohne Unterbrechung erzogen, es tritt durch den fortgesetzten Anbau einer und derselben Holzart keine Erschöpfung des Bodens ein, vorausgesetzt, daß dieselbe nicht lichtbedürftig sei. Es ist sogar constatirt, daß der Boden in Buchen-, Fichten- oder Tannenbeständen sich in dem Maße bessert, je länger diese Holzarten cultivirt werden.

Alles dieses weist darauf hin, daß die Waldwirthschaft von der mineralischen Zusammensetzung des Bodens weit weniger abhängig sei, als die Agricultur.

Zu dem nämlichen Schlusse gelangt man aber auch, wenn man die Asche der Erndtequantitäten von Feld und Wald mit einander vergleicht.

Vonhausen äscherte eine 80jährige Kiefer und eine 100jährige Buche vollständig ein und analysirte die Asche. Aus der Zusammensetzung der letzteren und mit Zugrundlegung einer für mittlere Bodengüten geltenden Ertragstafel berechnen sich folgende Aschequantitäten, welche die vorgenannten Holzarten der Fläche eines Hectare jährlich entziehen.

	Buche	Kiefer (mit Nadeln)
	Kilogr.	Kilogr.
Eisenoxyd	0,2556	0,1936
Manganoxyduloxyd	0,4236	0,0956
Kalkerde	20,2940	11,5200
Magnesia	5,2943	2,2916
Kali	6,4192	3,3223
Natrium	1,2029	0,3076
Kieselerde	3,5218	0,9008
Phosphorsäure	4,2793	1,9250
Schwefelsäure	0,3474	0,3426
Chlor	0,0407	0,0121
Kohlensäure	9,1852	4,6330
	51,2640	25,5442

Vergleicht man diese Erträge mit denen der Agriculturgewächse, so fällt sogleich auf, daß die Waldbäume dem Boden viel weniger Asche entziehen. Der Waizen liefert 5 mal mehr Asche, als die Buche und 10 mal mehr, als die Kiefer, die Runkelrübe sogar 11 mal mehr, als die Buche und 22 mal mehr, als die Kiefer. Noch auffallender stellt sich der Unterschied, wenn man den Gehalt der Feldgewächse und Waldbäume an den selteneren Aschebestandtheilen vergleicht. Eine Waizenerndte entzieht dem Boden an Phosphorsäure sechsmal so viel, als die Buche, 12 mal so viel, als die Kiefer, an Kieselsäure 45 mal so viel, als die Buche und 177 mal so viel, als die Kiefer. Eine Rapserndte braucht 12 mal mehr Phosphorsäure, als die Buche, und fast 29 mal mehr, als die Kiefer dem Boden entnimmt. Eine Runkelrübenerndte enthält 32 mal so viel Kali, als der jährliche Zuwachs der Buche und 68 mal so viel, als derjenige der Kiefer.

Aus dem Vorstehenden läßt sich mit großer Wahrscheinlichkeit der Schluß ziehen, daß der Wald bei weitem nicht so an die mineralische Zusammensetzung des Bodens gebunden sein kann, als die Agricultur, daß die Holzarten noch mit einem Boden vorlieb nehmen werden, welcher zu arm an assimilirbaren anorganischen Substanzen ist, um der Landwirthschaft lohnende Erträge zu versprechen.

Dieser Schluß bleibt im Wesentlichen derselbe, auch wenn wir mit Wolff annehmen, daß der Stickstoff im Boden eine wichtigere Rolle in Bezug auf die Pflanzen spiele, als dessen Gehalt an löslichen Mineralsubstanzen. Denn nach den Untersuchungen und Berechnungen von Chevandier produzirt ein Hectare Laubholzwald (aus Buchen, Eichen und Weichhölzern bestehend) jährlich nicht mehr, als 36 Kilogramme Stickstoff. Auf Grund der früher mitgetheilten Zusammenstellung von landwirthschaftlichen Erträgen würde daher eine Waizenerndte jährlich 1,5 mal, eine Bohnenerndte mehr als 3 mal, eine Runkelrübenerndte 3,4 mal, eine Kleeerndte 3,6 mal so viel Stickstoff liefern, als der jährliche Holzzuwachs.

Die Landwirthe haben die Erfahrung gemacht, daß die Winterfrüchte keiner so starken Düngung bedürfen, als die Sommerfrüchte, und daß jene überhaupt noch auf einem Boden von geringerer mineralischer Kraft gedeihen. Diese Erfahrung läßt sich wissenschaftlich recht gut erklären: die Winterfrüchte haben eine längere Vegetationsdauer und finden während dieser mehr Gelegenheit, sich die nöthigen Aschebestandtheile anzueignen; die Sommerfrüchte dagegen müssen in kurzer Zeit eine eben so große Menge von anorganischen Stoffen aufnehmen; dazu ist erforderlich, daß der Boden entweder tüchtig gedüngt, oder leicht aufschließbar sei.

Unsere Holzpflanzen verhalten sich ähnlich, wie die Winterfrüchte der Landwirthschaft; sie haben eine verhältnißmäßig lange Vegetationszeit und können daher noch mit einem Boden vorlieb nehmen, dessen Aufschluß nur langsam erfolgt.

Alles, was wir bisher angeführt haben, um augenscheinlich zu machen, daß die Holzproduction von der mineralischen Zusammensetzung des Bodens weit weniger abhängig sei, als die Agricultur, ist rein theoretischer Natur. Es fehlt indessen nicht an practischen Belegen zur Bestätigung unserer Ansichten.

Sehen wir uns einmal danach um, wie sich diejenigen Böden, welche arm an löslichen anorganischen Substanzen sind, gegen die Waldvegetation verhalten.

Ohnstreitig gehört der Sand, in welchem Quarz oder Glimmer vorherrscht, in mineralogisch-chemischer Beziehung zu den ärmsten Bodenarten. Der Quarz enthält ja fast nur Kieselerde und Eisen- oder Manganoxyd, und obgleich im Glimmer die Aschebestandtheile der Gewächse nicht fehlen, so ist doch diese Mineralspecies so schwer aufschließbar, sie trozt so hartnäckig den Agentien der Verwitterung, daß wir den aus Glimmersand gebildeten Boden unbedingt als arm bezeichnen können. Dessen ungeachtet finden wir auf diesen beiden Sandarten, mögen sie nun rein oder vermengt vorkommen, die herrlichsten Bestände, vorausgesetzt, daß der Boden das rechte Maß von Feuchtigkeit besitze, sowie es die einzelnen Holzarten verlangen. Der Verf. führt zur Bestätigung dieses Ausspruchs die Waldungen in der Ebene zwischen Main und Rhein (namentlich die in der Gegend von Langen und Lorsch) an, welche zum Theil auf früherem Flugsand stehen. Es mögen kaum schönere Kiefern, Fichten und vorzüglich Buchen zu finden sein, als diejenigen in der Main-Rhein-Ebene.

Ein anderes Beispiel dieser Art liefert der Spieß, ein in der Nähe von Darmstadt gelegener Buchenbestand, der sich durch vortrefflichen Wuchs auszeichnet. Der Boden des Spieß ist ein sogenannter schwitzender Quarzsand mit wenigem Glimmer. Daß es blos die Feuchtigkeit ist, welcher dieser Bestand sein fröhliches Gedeihen verdankt, läßt sich aus den westlich von Darmstadt befindlichen Kieferndistricten beurtheilen, welche auf trocknerem Sand von der nämlichen mineralischen Beschaffenheit stehen. Hier bleibt selbst die genügsame Kiefer im Wuchs zurück.

Einen weiteren Beleg für unsere Ansicht bieten einige Bestände im Taunus. Das Taunusgestein gehört in die Gruppe des Quarzit's, schon der bloße Anblick zeigt, daß es fast nichts als Quarz enthält. Auf dem Verwitterungsboden dieses Gesteins wachsen vortreffliche Buchenbestände mit eingesprengten Ahornen, Eschen und Rüstern. Ja noch mehr, selbst zwischen den nackten Steinen in den sogenannten Felsenmeeren des Taunus vegetiren Ahorne und Rüstern auf das Ueppigste (Distr. Goldkopf im Taunus).

Der Quadersandstein, welcher doch ohnstreitig zu denjenigen Sandsteinen gehört, die am wenigsten Bindemittel besitzen, erzeugt in frischen Lagen ausgezeichnete Buchen-, Fichten- und Weißtannenbestände, wie der Verf. durch eignen Augenschein in der Sächsischen Schweiz wahrgenommen hat. Es ist weiter nichts, als Feuchtigkeit und Tiefgründigkeit nöthig, um den aus der

Verwitterung des Quadersandsteins gebildeten Boden zur Production von allen Holzarten zu befähigen, denn wo die Buche, Fichte und Weißtanne gedeihen, da kommen auch die andern Holzarten fort.

Das Resultat der so eben mitgetheilten Beobachtungen läuft also auf den Satz hinaus, daß jeder Boden, welcher sich in seinem natürlichen Zustande befindet, genug anorganische Stoffe enthält, um die Holzbestände mit diesen zu versorgen. Wir reden hier ausdrücklich von einem solchen Boden, welcher noch nicht auf künstlichem Wege seines Gehaltes an löslichen Mineralstoffen beraubt worden ist. Alle Beobachtungen lehren, daß die wildwachsenden Pflanzen, zu denen wir auch unsere Waldbäume rechnen, den Boden nicht erschöpfen, wohl kann aber dieser Fall eintreten, wenn man mit Beihülfe der Beackerung, aber ohne Anwendung von Dünger, solche Agriculturgewächse, welche große Ansprüche an die mineralischen Substanzen des Bodens machen, längere Zeit cultivirt. Vor ohngefähr zwanzig Jahren wurde ein Eichenbestand in der Nähe von Gießen abgetrieben und der Boden landwirthschaftlich benutzt; die Pächter bauten fortwährend Getraide, ohne zu düngen. Nach Verlauf von fünfzehn Jahren war der Boden so ausgesogen, daß es sich nicht mehr erlohnte, den Getraidebau fortzusetzen; man fing nun wieder an, Eichen zu cultiviren, allein auch diese kamen auf dem ausgemergelten Boden nicht fort, und erst nach einer Ruhe von mehreren Jahren gelang es, die Fläche mit Kiefern in Cultur zu bringen.

Die Landwirthe unterscheiden kräftige und nicht kräftige Böden und verstehen unter jenen solche, welche des Düngens längere Zeit entbehren können. Auch in der Forstwirthschaft ist die obige Unterscheidung gebräuchlich, sie wird aber hier in doppeltem Sinne angewandt. Einige nennen einen Boden schon dann kräftig, wenn er überhaupt zur Holzproduction sehr geeignet ist; Andere begreifen unter kräftigen Böden solche, welche das Streurechen gut ertragen. Nun hat die Erfahrung gelehrt, daß die nachtheiligen Folgen des Streuentzugs sich namentlich auf Sandboden geltend machen, und man hat dies dem geringen Gehalt des Sandes an löslichen anorganischen Substanzen zurechnen wollen. Allein die Sache läßt sich auch noch anders erklären. Die Sandarten sind der Austrocknung sehr ausgesetzt und können vor dieser durch den Humus geschützt werden; die sog. kräftigen Bodenarten sind sämmtlich solche, welche eine große wasserhaltende Kraft besitzen; der Streuentzug wird also bei ihnen nicht so leicht eine Austrocknung herbeiführen. Wir sehen daher, daß die nachtheiligen Folgen des Streurechens auf Sandboden sich ebensowohl durch die besonderen physikalischen Eigenschaften dieser Bodenart erklären lassen. Hiernach würde also die Bezeichnung eines kräftigen Bodens hauptsächlich durch dessen Verhalten gegen die Feuchtigkeit gegeben sein und wir würden die Eintheilung der Böden in arme und reiche, je nach ihrem Gehalt an assimilirbaren anorganischen Stoffen, bezüglich der Waldbäume fallen lassen müssen.

b. **Bedeutung der geognostischen Abstammung des Bodens für das Gedeihen der Waldvegetation.**

Noch häufig wird der geognostischen Abstammung des Bodens ein großer Einfluß auf das Gedeihen der Holzgewächse beigelegt. Dieser Einfluß läßt sich allerdings nicht läugnen. Es fragt sich nur, ob ein und dasselbe Muttergestein bei der Verwitterung stets einen Boden von der nämlichen Güte hervorbringt.

Im Vorhergehenden sind einige Gründe beigebracht worden, welche dafür sprechen, daß die chemische Zusammensetzung des Bodens für die Waldwirthschaft von geringerer Bedeutung sei, als für die Agricultur. Gesetzt aber auch, daß die Frage über den chemischen Einfluß des Bodens auf die Waldvegetation noch offen sei, so können wir die Factoren der Güte des Bodens (abgesehen von seiner Lage) doch nur in seiner chemischen und physikalischen Beschaffenheit suchen. Es bliebe nun zu entscheiden, ob jede Gesteinsart, welche der Geognost mit einem besonderen Namen bezeichnet, stets einen Boden von der nämlichen chemischen Zusammensetzung, oder von den nämlichen physikalischen Eigenschaften liefert.

Nun haben wir schon im Vorbereitenden Theil dieses Werkes gesehen, daß die Geognosten Gesteine von der verschiedenartigsten Zusammensetzung unter einem und demselben Namen vereinigen. So gibt es z. B. Hornblenden, welche Alkalien enthalten, und Hornblenden, welche davon frei sind; es gibt Syenite mit Orthoklas- und andere mit Labradorfeldspath. Der eine Syenit kann also unter Umständen einen kalkarmen, der andere einen kalkreichen Boden bei der Verwitterung liefern. Noch größer ist der Unterschied, was den Gehalt der Mineralien an den selteneren Bodenbestandtheilen, z. B. der Phosphorsäure, anlangt. Es gibt Feldspathe, welche sehr reich daran sind, während sich in andern kaum eine Spur von Phosphor entdecken läßt. Am bedeutendsten ist die Differenz bei der Zusammensetzung der Kalke. Der Verf. hat Muschelkalke analysirt, welche überaus viel Kieselsäure, Thon, Alkalien, Phosphorsäure, Eisen ꝛc. enthielten, während andere sich fast als reine kohlensaure Kalkerde ergaben.

Für den Fall also, daß man die Güte des Bodens nach dem Muttergestein bestimmen wollte, müßte man nicht allein die Zahl der geognostischen Benennungen vervielfachen, sondern auch zugleich erst durch eine chemische Analyse die Zusammensetzung des Muttergesteins feststellen. Daß Beides für den practischen Gebrauch unthunlich ist, versteht sich ohne weitere Ausführung.

Gesetzt aber auch, man kenne die chemische Zusammensetzung des Muttergesteins ganz genau, so läßt sich aus dieser noch keineswegs die Zusammensetzung des Verwitterungsbodens bemessen. Es kommt hier vorerst darauf an, wie weit die Zersetzung des Gesteins vor sich gegangen ist, und dann wäre noch zu ermitteln, ob die Bestandtheile desselben an Ort und Stelle verblieben sind. Ersteres, wie letzteres, ließe sich wieder nur durch die chemi-

sche Analyse, und auch mittelst dieser nur beiläufig, bestimmen. Denn wenn auch die Wissenschaft es möglich macht, jeden Körper in seine Elementarbestandtheile zu zerlegen, so ist sie doch noch weit davon entfernt, bei einer Menge verschiedener Substanzen angeben zu können, in welcher Form jede von diesen sich befinde.

Worte wie Granit-, Syenit-, Basalt-, Kalk- rc. Boden bezeichnen also blos die Abstammung, aber durchaus nicht die chemische Zusammensetzung dieser Bodenarten.

Das nämliche Verhälniß findet bezüglich der physikalischen Eigenschaften des Bodens statt. Eine und dieselbe Gesteinsart kann Böden von sehr verschiedener Feinheit des Korns, verschiedener Tiefgründigkeit, Wasseraufnahme-Fähigkeit, wasserhaltender Kraft, Erwärmungsfähigkeit rc. liefern, und oft lassen sich nicht einmal durch die chemische Analyse die Ursachen auffinden, durch welche diese Abweichungen hervorgerufen werden. Wollte man aber die Gesteine nach allen denjenigen Momenten, welche eine verschiedenartige Verwitterung bewirken, unterscheiden, so würde man mit Tausenden von Namen nicht ausreichen. Dabei kommen noch eine Menge Umstände in Betracht, welche unserer Wahrnehmung gänzlich entgehen.

Wie sehr hängt z. B. die Tiefgründigkeit davon ab, ob die unter dem Verwitterungsboden liegende Felsart zerklüftet ist, oder in welchem Winkel die Schichten einfallen. Haben letztere eine horizontale Lage, so können die Wurzeln nicht eindringen, das Wasser sammelt sich an und verursacht Versumpfungen, stehen die Schichten senkrecht, so versinkt unter Umständen die Feuchtigkeit schnell in die Tiefe, die Pflanzen leiden durch Trockenheit.

Sehr häufig beruht der größere oder geringere Grad von Tiefgründigkeit auf dem Gehalt an Mineralsubstanzen, welche irgend einer Gesteinsart accessorisch beigemengt sind. So verwittert z. B. der Basalt, wenn er viel Olivin enthält, viel schneller, als wenn er an diesem Mineral arm ist. Die Zersetzbarkeit des Feldspaths hängt wesentlich von seinem Gehalt an Eisenoxydul ab.

Die Erwärmungsfähigkeit des Bodens, welche unter Umständen sehr wichtig für die Vegetation werden kann, wird hauptsächlich durch die Farbe des Muttergesteins bestimmt. Die Farbe wechselt aber, selbst bei einem und demselben Gestein, oft ganz außerordentlich.

Die Wasseraufnahme-Fähigkeit und die wasserhaltende Kraft hängen, wie wir früher gesehen haben, vornehmlich von dem Grade der Zertheilung ab, in welcher die Partikelchen des Bodens sich befinden, und diese Zertheilung wird ihrerseits wieder durch die Feinheit des Korns beim Muttergestein bedingt. Wie verschieden sind aber die Gesteine in dieser Beziehung! Es gibt Granite mit faustgroßen Feldspath- und Quarzkrystallen, während in andern Graniten die Gemengtheile sich kaum mit bloßem Auge unterscheiden lassen. Einige Porphyre enthalten viele, andere höchst wenige oder gar keine Quarz-Krystalle.

Zuletzt hängt die physikalische Beschaffenheit des Bodens und namentlich die Tiefgründigkeit, auf welche es bei der Waldvegetation so sehr ankommt, hauptsächlich von der Lage ab. An Abhängen bildet sich gewöhnlich ein flachgründiger Boden, weil die Erdtheilchen durch die niederfallenden Meteorwasser in die Tiefe geschwemmt werden; in den Mulden ꝛc., wo die Erdpartikelchen abgesetzt werden, erzeugt sich ein tiefgründiger Boden. So kann eine und dieselbe Gesteinsart, je nach der Oberflächengestaltung des Terrains, Böden von sehr verschiedener Tiefgründigkeit liefern.

Wir sehen also, daß auch die physikalischen Eigenschaften des Bodens sich nicht nach dem Muttergestein bestimmen lassen.

Die Lehrbücher der Bodenkunde pflegen bei jeder Gesteinsart die Beschaffenheit (namentlich die Tiefgründigkeit) des Bodens anzugeben, welcher aus Verwitterung eines solchen Gesteins sich bilden soll. Diese Angaben beruhen fast immer auf örtlichen Wahrnehmungen, welche man in einer tadelnswerthen Weise generalisirt hat.

So liest man in fast allen Schriften über forstliche Bodenkunde, der Basalt liefere ein überaus fruchtbares Erdreich, welches der ersten Bodenklasse beigezählt werden müsse. Der Verf. kann aber in seinem Dienstbezirke große Strecken von Basaltboden aufzeigen, dessen Güte geringer ist, als diejenige des trockensten Flugsandes.

Einige Schriftsteller sind aber noch weiter gegangen; sie haben neben jeder Gesteinsart nicht blos den Boden, welcher aus ihr entspringt, nebst seinen chemischen und physikalischen Eigenschaften, sondern auch die Holzarten angegeben, welche auf einem solchen Boden besonders gut gedeihen sollen. Ja man hat sich sogar noch auf feinere Specialitäten eingelassen, man hat den Wuchs, die Formzahl ꝛc. der Bäume für die nach ihrer Abstammung von den Muttergesteinen classificirten Bodenarten ausgeworfen, ohne zu bedenken, daß eines und dasselbe Gestein Böden von den verschiedenartigsten Eigenschaften liefern kann. Diese Fehlgriffe rühren zum Theil daher, weil man glaubte, es ließen sich keine allgemeinen Gesichtspuncte für das Verhalten des Bodens gegen die Holzarten aufstellen, die Einflüsse der Localität seien zu verschieden, als daß sie systematisch gruppirt werden können. Man hat sich daher blos an einzelne Beobachtungen von Thatsachen gehalten, ist aber leider dem angenommenen Grundsatze wieder untreu geworden, indem man es nicht bei der Mittheilung dieser Beobachtungen beließ, sondern dieselben sogleich verallgemeinerte. Man ist dadurch zu Schlüssen gekommen, welche mit der Erfahrung im schreiendsten Widerspruch stehen, ja man ist auf förmliche Absurditäten geführt worden. So liegt z. B. dem Verf. gegenwärtig ein Aufsatz über das Verhalten des Bodens zu den Holzarten vor, in welchem es heißt, die Kiefer habe auf dem tiefgründigen und kräftigen Verwitterungsboden des Muschelkalkes anfangs einen sehr raschen Wuchs, lasse aber frühzeitig darin nach und könne daher auf einem solchen Boden nur in einem kurzen Umtriebe vortheil-

haft benutzt werden. Warum muß man fragen, soll denn ein tiefgründiger Boden ein baldiges Sinken des Zuwachses zur Folge haben? Ist denn die Tiefgründigkeit dem Wachsthum schädlich? Wir könnten noch eine ganze Reihe von solchen grundlosen Behauptungen aufführen, welche sich in die Literatur der forstlichen Bodenkunde eingeschlichen haben, und entweder der theoretischen Speculation, oder der Sucht, zu generalisiren, ihren Ursprung verdanken.

4. Sonstige Factoren der forstlichen Standortsgüte.

Bisher haben wir die Standortsgüte blos in so weit betrachtet, als sie von dem Boden abhängt; es bleibt uns jetzt noch übrig, die Factoren des Klima's zu würdigen.

Der tiefgründigste, humoseste, frischeste Boden wird keine Vegetation hervorbrigen, wenn er sich über der Schneegrenze befindet. Sollen die einzelnen Factoren der Bodengüte ihre volle Wirkung äußern, so ist es nöthig, daß sie von den Meteoren in einer angemessenen Weise unterstützt werden. Wir wollen nun diejenigen Meteore nennen, von welchen das Gedeihen der Waldvegetation vorzüglich abhängt.

a. Wärme.

Früher haben wir gesehen, daß die Wärme, wenn eine hinreichende Menge von Feuchtigkeit vorhanden ist, das Pflanzenwachsthum fördert, daß sie dagegen sehr häufig schädlich wird, indem sie den Boden austrocknet (Südseiten ꝛc.). Hier haben wir den Einfluß der Wärme nur in so weit zu betrachten, als dieselbe eine Bedingung für das Fortkommen und Gedeihen der Waldvegetation bildet.

Es wurde oben bereits angegeben, daß die vier Factoren der Bodengüte, nämlich Tiefgründigkeit, Lockerheit, Feuchtigkeit und Humushaltigkeit nur dann einen Effect hervorzubringen vermögen, wenn die Temperatur des Standorts einer Holzart dieser angemessen ist. Wir haben nun zu fragen: in welcher Weise hängt das Vor- und Fortkommen der Holzarten von der Wärme ab?

Wir wissen, daß die Wärme vom Aequator nach den Polen und von der Meeresfläche nach den höheren Regionen des Luftkreises hin abnimmt, und daß die Waldvegetation nach denselben Richtungen eine geringere Mannigfaltigkeit der Arten und zuletzt auch der Individuen entfaltet. Allein es wirft sich nun die neue Frage auf: richtet sich das Fortkommen und Gedeihen der Holzarten nach der mittleren Jahrestemperatur, oder nach der Sommer- oder Wintertemperatur, oder nach den Wärmeextremen?

Um diese Frage zu lösen, bleibt uns nichts anderes übrig, als die natürliche Verbreitung der Holzarten zu betrachten, denn bis jetzt sind noch keine Culturversuche angestellt worden, um die Wirkungsweise der Wärme zu ermitteln. Wenn man aber aus der natürlichen Verbreitung der Waldbäume Schlüsse in der gedachten Beziehung ableiten will, so kann dies nur mit der größten Vorsicht geschehen. Denn wenn irgend eine Holzart an einem ge-

wissen Standorte nicht vorkommt, so beweist dies noch nicht, daß ihr die klimatische Beschaffenheit desselben entgegen sei. So ist z. B. die Lärche im Vogelsgebirge ursprünglich nicht heimisch gewesen, sie wird daselbst noch nicht länger als 100 Jahre cultivirt. Und doch wächst diese Holzart daselbst viel rascher, als in ihrem Vaterlande, den Alpen.

Die jüngsten Untersuchungen der Botaniker haben es sehr wahrscheinlich gemacht, daß jede Pflanzenspecies nicht von einem einzigen Individuum oder Elternpaar abstammt. Trotzdem können wir aber nicht annehmen, daß jede Localität, welche zur Production einer bestimmten Pflanzenart tauglich ist, auch sogleich beim Beginn der jetzigen geologischen Periode mit derselben vom Schöpfer ausgestattet wurde; es scheint, daß die Bekleidung des Erdballs mit Pflanzen zum Theil der Wanderung derselben überlassen worden ist. Zu diesem Schlusse gelangt man schon, wenn man überlegt, daß nicht alle Theile der Erdoberfläche gleichzeitig eine solche Bodenbeschaffenheit haben konnten, wie sie zum Gedeihen der Pflanzen nothwendig war; die Verwitterung mußte viele Localitäten im Laufe der Zeit verändern, ehe sich eine Vegetation auf ihnen einstellen konnte. Nun können sich aber der natürlichen Verbreitung der Pflanzen Hindernisse in den Weg gestellt haben, welche nicht auf Rechnung der Wärme gesetzt werden dürfen.

Sehr unwahrscheinlich ist es, daß das Fortkommen der Holzarten an die mittlere Jahrestemperatur gebunden sei, denn diese setzt sich aus Elementen zusammen, welche sehr abweichend auf die Vegetation einwirken. Zwei Orte von gleicher mittlerer Jahrestemperatur können höchst verschiedene Sommer- und Wintertemperatur besitzen. Vergleichen wir in dieser Beziehung z. B. Enontekis in Lappland (bei 68°40′ n. Br.) und den St. Gotthard (46°33′ n. Br.). Ersteres hat eine mittlere Jahrestemperatur von — 2°,7, der Gotthard von — 0°,8. Trotzdem nun, daß der letztere eine größere Jahreswärme besitzt, ist er jeder Baumvegetation baar, während bei Enontekis noch Fichten vorkommen. Dieses abweichende Verhalten erklärt sich aber, wenn man die Sommertemperatur vergleicht, welche für Enontekis 12°,6, für den Gotthard nur 6°,7 beträgt. Die Fichte ist eine Holzart, welche die Winterkälte nicht fürchtet, es macht also bei ihr nichts aus, daß Enontekis 9,°4 weniger Wärme im Winter genießt, als der Gotthard (die Wintertemperatur von Enontekis beträgt — 17°,0, die des Gotthard — 7°,6). Schon aus diesem Beispiel läßt sich der Satz ableiten, daß das Fortkommen solcher Holzarten, welche eine starke Winterkälte zu ertragen vermögen, mehr durch die Sommertemperatur bestimmt wird. (In Sibirien wachsen, wie uns v. Wrangel berichtet, Weiden auf gefrornem Boden, der nur während der Sommermonate ein paar Zoll hoch aufthaut). Andere Holzarten dagegen, wie z. B. die Wallnuß und die zahme Kastanie, mögen mehr von der Wintertemperatur oder vielmehr von den Kälteextremen abhängen.

Zur Vollendung seiner Vegetationsphasen (Blattausbruch, Blüthe,

Fruchtreife, Blattabfall) braucht jedes Gewächs eine bestimmte Wärmesumme. Es ist daher eigentlich nicht die Sommertemperatur, sondern die Wärme der ganzen Vegetationszeit und die richtige Vertheilung der Wärme innerhalb dieses Zeitraums, welche über das Gedeihen und Fortkommen der Pflanzen entscheidet. Die natürliche Fortpflanzung der Gewächse hängt überdies von der Samenreife ab und diese kann nur bei gewissen höheren Wärmegraden erfolgen. Uebernimmt der Mensch die künstliche Fortpflanzung der Gewächse (indem er z. B. die Samen aus südlicheren Klimaten bezieht, wo dieselben reifen), so lassen sich manche auch außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsbezirkes cultiviren. So hat man z. B. in Norwegen hie und da zahme Kastanien angebaut, welche ein recht kräftiges Wachsthum zeigen, allein sie müssen auf künstlichem Wege fortgepflanzt werden, weil ihre Samen nicht reifen.

Es ist schon die Frage aufgeworfen worden, ob eine Pflanze an niedrigere Kältegrade allmählig gewöhnt werden könne. Nach den bisherigen Beobachtungen muß diese Frage unbedingt verneint werden. So erfriert z. B. Oxymum basilicum, welches schon seit 1548 in England cultivirt wird, regelmäßig, sobald die Temperatur unter + 5° sinkt. Einzelne Ausnahmen von diesem Gesetze, welche bisweilen geltend gemacht wurden, sind nur scheinbare. Wenn z. B. die Kastanie am Harz und in Norwegen mitunter höhere Kältegrade überdauert, als am Rhein, so rührt dies nur daher, weil in den milder gelegenen Rheingegenden die Kastanie früher treibt, als in dem rauheren Norden. Wie wir schon an einem andern Orte gesehen haben, werden die Fröste den Bäumen vorzugsweise dann gefährlich, wenn diese bereits im Safte stehen.

Auch die Bodenwärme übt einen Einfluß auf die Verbreitung der Gewächse aus. So kommen z. B. auf den heißen Fumarolen der vulkanischen Insel Ischia zwei Pflanzen, Cyperus polystachius und Pteris longifolia, vor, welche man nur noch in Sicilien und Afrika findet, und in einem von warmen Quellen gebildeten See Ungarns wächst die Lotosblume, welche zur Flora Egyptens und anderer warmer Länder gehört (Schouw). Wenn man aber das Vorkommen der Buche in der Grafschaft Laurvig in Norwegen von der größeren Bodenwärme dieses Landes abhängig zu machen gesucht hat, so hat man übersehen, daß diese Bodenwärme in enger Beziehung zur Luftwärme steht (sie kommt auf Rechnung der Meteorwasser), und daß die Linie, welche den Verbreitungsbezirk der Buche in Norwegen und Schweden begrenzt, mit der Isotherme von Laurvig zusammenfällt. Es ist also gar nicht nöthig, die Wärme des Bodens zu Hülfe zu nehmen, um das äußerste Vorkommen der Buche in Norwegen, gegenüber demjenigen in Schweden, zu erklären.

Daß hohe Sommertemperaturen bei hinreichendem Feuchtigkeitsgehalt der Luft das Wachsthum der Waldbäume, selbst derjenigen, welche aus dem Hochgebirg stammen, unterstützen, ist schon an einem andern Orte angegeben worden.

Die vorstehenden Betrachtungen liefern folgende Resultate.

α. Die Verbreitung der Holzarten hängt, was die Wärme anlangt, weniger von der mittlern Jahrestemperatur, als von der Temperatur des Sommers, oder vielmehr der Vegetationszeit, ab.

β. Für zärtliche Holzarten wird die Grenze ihres Verbreitungsbezirkes durch die niedrigste Temperatur des Winters oder der Saftzeit bestimmt.

γ. Die Cultur gewisser Holzarten kann sich noch auf Gegenden erstrecken, in denen diese Holzarten wegen mangelnder Samenreife sich nicht mehr natürlich fortpflanzen.

δ. Wenn hinreichende Feuchtigkeit im Boden und in der Luft vorhanden ist, so hindern hohe Sommertemperaturen den Anbau nordischer oder aus dem Hochgebirg stammender Holzarten nicht.

b. Luftfeuchtigkeit.

Wir haben es hier nur mit der Luftfeuchtigkeit zu thun. Diese ist eine sehr wesentliche Bedingung für die Verbreitung derjenigen Holzarten, welche zu starker Blattausdünstung geneigt sind. Hieher gehört u. A. die Buche Wir sehen, daß dieselbe mehr die Vorberge als die Ebenen bewohnt, und glauben, dies auf Rechnung der größern relativen Feuchtigkeit der Gebirgsluft bringen zu müssen. Daß die Buche nicht sehr hoch im Gebirge ansteigt, rührt wohl von ihrer Empfindlichkeit gegen die in den höheren Regionen des Luftkreises herrschenden niederen Temperaturen her.

Gewiß hat man es der starken Blattausdunstung der Buche zuzuschreiben, warum dieselbe in dem den trockenen Ostwinden geöffneten Rußland, sowie in den Ebenen von Spanien, dem südlichen Frankreich und von Italien nicht vorkommt. Wenigstens scheint dies daraus hervorzugehen, weil sie sich auf den Apenninen findet, auf denen sie sich aber um so mehr erhebt, je weiter dieses Gebirge nach Süden vordringt. (In den Abruzzen, bei 42—43° Breite trifft man die Buche in Beständen bei 4000, in Sicilien bei 6000 Fußen Meereshöhe). Im Schwarzwald entwickelt sich die Buche so kräftig, daß sie hie und da die Weißtanne unterdrückt.

Die festen Hydrometeore wirken der Verbreitung mancher Holzarten entgegen. So geht z. B. die Kiefer in den Alpen nicht so hoch im Gebirg hinauf, als die Fichte, weil sie mehr, als diese, vom Schneedruck leidet, dagegen erstreckt sich die Kieferngrenze nördlich (69°) weiter, als die Grenze der Fichte (68°). Im hohen Norden kommt Schneedruck viel seltener vor, weil der Schnee feinflockiger fällt.

c. Luftströmungen.

Wir kennen zwei Arten von Luftströmungen, welche das Gedeihen der Holzarten bei der vorzüglichsten Bodengüte hindern können; dies sind die Stürme und die Seewinde. Ueber die Wirkungsart beider, so wie über ihr Vorkom-

men auf bestimmten Localitäten, ist an dem gehörigen Orte das Nöthige gesagt worden.

Daß die Ostwinde die Güte mancher Standorte durch Austrocknung des Bodens und der Pflanzen schmälern können, gehört nicht hierher, weil wir gegenwärtig nur diejenigen Meteore zu behandeln haben, welche bei dem Vorhandensein der Feuchtigkeit den Holzwuchs beeinträchtigen.

Zweiter Abschnitt.

Erhaltung und Mehrung der forstlichen Standortsgüte.

Da die Production einer Fläche von der Standortsgüte abhängt, so hat der Forstmann Alles, was in seinen Kräften steht, aufzubieten, um dieselbe zu erhalten und zu vermehren. Der Landwirth wendet zu dem nämlichen Zwecke mehrere, zum Theil sehr kostspielige, Operationen an; er düngt seinen Acker und unterwirft ihn jährlich einer tiefgehenden Lockerung (Beackerung). Der Forstmann ist nicht im Stande, solche theure Manipulationen in Anwendung zu bringen, dazu ist der Werth der forstlichen Rohproducte zu gering und selten verlohnt eine durch Verbesserung der Standortsgüte bewirkte Zuwachsmehrung die stattgehabten Kosten, wenn diese nicht sehr unbedeutend sind. In der Pfalz beträgt der Geldwerth des Rohertrags von 1 Hectare Tabak oft 400—500 Gulden; rechnen wir, daß pro Hectare 8 Stere jährl. Durchschnittszuwachs an Buchenholz mit einem Werthe von 6 fl. pro Stere, also von 48 fl. im Ganzen erfolgen, so ist dies schon ein hoher Ertrag. Man weiß, daß der landwirthschaftliche Boden sich nicht höher rentirt, als das Waldgelände, und wenn ersteres auch meist einen größeren Kapitalwerth besitzt, als letzteres, so sieht man doch ein, daß auf jene 400—500 fl. sich viel mehr Productionskosten häufen lassen, als auf unsere 48 fl., um den nämlichen Reinertrag zu erzielen.

Die Maßregeln, welche der Forstmann zu ergreifen hat, um die Güte des Waldbodens zu erhalten und zu vermehren, bestehen weniger in besonderen Operationen, sondern beschränken sich mehr auf gewisse Rücksichtsnahmen bei der Auswahl der Holzarten, Betriebsarten, Umtriebszeiten, Durchforstungs- und Verjüngungsmethoden und bei der sonstigen Bewirthschaftungsart der Waldungen. Wir wollen nun die Hülfsmittel, welche dem Forstmann hierin zu Gebote stehen, im Einzelnen betrachten.

1. Auswahl der Holzart.

Wie oben gezeigt wurde, wirkt der Humus dadurch günstig auf den Boden ein, weil er dessen Tiefgründigkeit und Lockerheit vermehrt und zugleich einen nachhaltigen Feuchtigkeitsgrad sichert. Für die Vermehrung der Tiefgründigkeit, Lockerheit und Feuchtigkeit des Bodens vermag der Forstwirth

direct wenig thun; auf indirectem Wege kann dies aber dadurch geschehen, daß er solche Holzarten cultivirt, welche einen starken Laubabfall haben, oder die Humuserzeugung sonst begünstigen, und deren Kronenschluß so dicht ist, daß sie die beiden Hauptfeinde der Humusbildung und der Feuchtigkeit — die Sonne und den Wind — abhalten.

Solche Holzarten sind vorzugsweise diejenigen, welche Schatten ertragen, also die Tanne, Fichte, Buche, Schwarzkiefer, Hainbuche, Linde, Wallnuß und zahme Kastanie. Für die deutsche Forstwirthschaft sind namentlich die drei erstgenannten wegen ihrer vielseitigen Nutzbarkeit und weil sie das deutsche Klima gut ertragen, von Wichtigkeit. Die Anzucht der Hainbuche ist von beschränkterer Ausdehnung, weil diese Holzart nur auf besonders günstigen Standorten gedeiht.

Auch die gemeine Kiefer und die Lärche tragen bis zu einem gewissen Lebensalter hin zur Besserung des Bodens bei, weil sie einen ziemlich starken Nadelabfall haben. Dazu kommt noch bei der Kiefer, daß sich der Boden in Beständen, welche von dieser Holzart gebildet werden, mit Moos (hauptsächlich den Hypnum-Arten) überzieht, welches die Stelle des abgefallenen Laubes der Laubwaldungen vertritt. Allein die Kiefer und die Lärche fangen schon frühe an, sich auszulichten, und es verschwindet mit diesem Zeitpunkt zugleich das Moos in den Kiefernwaldungen; diese beiden Holzarten sind also nicht geeignet, die Bodengüte auf die Dauer zu erhalten und zu vermehren. Noch weniger sind dazu diejenigen Baumarten befähigt, welche wir früher als lichtbedürftig kennen gelernt haben; sie werfen zu wenig Laub ab, und ihr lockerer Baumschlag gestattet dem Sonnenlicht und dem Winde den Zutritt zum Boden, welche die Feuchtigkeit aufzehren und die Humusbildung hindern.

Theorie der reinen Bestände. Soll eine Holzart in reinem Bestande auf die Dauer cultivirt werden, so muß dieselbe einen dichten Baumschlag besitzen. Die Buche, Fichte und Tanne kann man Jahrtausende lang auf einer und derselben Fläche erziehen, die Bodenkraft nimmt nicht ab, sondern sie vermehrt sich mit jedem Jahre.

Anders ist es bei den lichtbedürftigen Holzarten der Fall. Wenn man einen reinen Birkenbestand auf dem besten Boden anlegt, so hat sich schon nach einigen Umtriebszeiten die Bodengüte so weit vermindert, daß jetzt die Birke bedeutend im Zuwachse nachläßt. Das nämliche Verhalten zeigen z. B. Rüstern, Ahorne, Eschen, Pappeln, Weiden, Elzbeeren und Eichen. In der Jugend schützen sie alle den Boden, weil dann die Krönchen noch nahe an der Erde sind; später lichten sie sich aber aus. Sie lassen sich daher nur da mit Erfolg auf die Dauer in reinen Inständen erziehen, wo die Natur auf einem andern Wege für die Instandhaltung der Bodenkraft sorgt. Dies ist z. B. auf dem Schwemmboden an manchen Meeresküsten und in der Nähe der Flüsse der Fall, wo von Zeit zu Zeit eine humushaltige, lockere Erdschichte durch das austretende Wasser abgesetzt wird.

Die Schwarzerle kommt öfters in reinen Beständen vor und kann auch, obgleich sie eine lichtbedürftige Holzart ist, in solchen geduldet werden. Denn die Localitäten, auf welchen die Erle gedeiht, haben von einer Bodenausmagerung, hervorgerufen durch den lichten Baumschlag der auf ihnen erzogenen Holzarten, nichts zu besorgen. Die Erle liebt, wie wir früher gesehen haben, nasse Standorte; an solchen Stellen ist der Verwesung des abgefallenen Baumlaubes und des Humus eine Grenze gesetzt; das Wasser schließt die Atmosphäre ab, und der wenige Sauerstoff, welcher neben Stickstoff im Wasser gelöst ist, wird zur Oxydation der immer in den Gewässern schwebenden organischen Substanzen verwandt. Was schadet es hier, wenn auch der Boden nicht beschattet ist, welchen Nachtheil können Wind und Sonne an solchen Orten bringen? Feuchtigkeit ist im Uebermaße vorhanden und das Laub kann nicht entführt werden, denn es sinkt sogleich im Wasser unter.

Theorie der gemischten Bestände. Diejenigen Holzarten, welche zu reinen Beständen nicht taugen, müssen in gemischten Beständen erzogen werden. Die vorherrschende Holzart in diesen muß eine von den schattenertragenden, dichtkronigen sein, welche den Schutz des Bodens übernehmen kann. Die lichtbedürftigen, dünnkronigen Holzarten dürfen nur einzeln eingesprengt werden. Eine horstweise Untermischung empfiehlt sich nicht, weil bei dieser der Boden stellenweise verarmt. Die eingesprengte lichtbedürftige Holzart muß aber schnellwüchsiger, als die den vorherrschenden Bestand bildende schattenertragende sein, damit sie nicht von dieser unterdrückt werde. Zwei oder mehrere lichtbedürftige Holzarten dürfen nicht mit einander gemischt werden, denn erstens verarmt der Boden in Beständen, welche nur aus lichtbedürftigen Holzarten bestehen, und zweitens würde die eine lichtbedürftige von der andern unterdrückt werden.

Es ist nicht nöthig, daß die zu mischenden Holzarten einen verschiedenen Wurzelbau besitzen, daß z. B. die eine flach-, die andere tiefwurzelnd sei. Die Erfahrung zeigt ja, daß reine Buchenbestände, in denen doch alle Bäume einerlei Wurzelsystem haben, oder daß z. B. die flachwurzelnde Birke mit der flachwurzelnden Buche gemischt, recht gut gedeihen.

Man hat die Beobachtung gemacht, daß die lichtbedürftigen Holzarten in Untermischung mit den schattenertragenden schneller in die Höhe schießen und überhaupt mehr Zuwachs anlegen, als in reinem Bestande, und dies durch die Verschiedenartigkeit der anorganischen Nährstoffe, welche die verschiedenen Holzarten aufnehmen, zu erklären gesucht. Allein diese Interpretation verliert das Bestechende, welches sie beim ersten Anblick in sich trägt, wenn man sie auf concrete Fälle anwenden will. So gedeiht z. B. die Kiefer anerkannter Maßen viel besser in Untermischung mit der Buche, als im reinen Kiefernbestande, trotzdem, daß die Buche von allen Aschebestandtheilen ohne Ausnahme mehr aufnimmt, als die Kiefer (Siehe S. 485). Es müßte also

nach jener Theorie das Wachsthum der Kiefer durch die Buche gehindert werden, während die Beobachtung das Gegentheil nachweist.

Andere haben die vorliegende Erscheinung durch die Annahme zu erklären gesucht, die Pflanzen sonderten durch ihre Wurzeln Stoffe aus, welche den Individuen von derselben Art (Species) zuwider seien, dagegen Pflanzen von anderer Art oder Gattung ein beliebtes Nahrungsmittel darböten. Die Gewächse sollten sich hierin ähnlich wie die Thiere verhalten, von denen man weiß, daß keines seine eigenen Excremente verzehrt, während einige von dem Kothe anderer Thiere leben. Indessen hat man hier die Analogie zu weit ausgedehnt. Zuerst müßte denn doch das Vorhandensein und die Natur dieser Wurzelsecretionen bekannt sein, ehe man auf sie Schlüsse in Bezug auf den Ernährungsprozeß der Gewächse bauen kann. Die Lehre von den Wurzelsecretionen ist bis jetzt nichts anderes, als eine Hypothese, die gar keinen Werth für uns hat, denn es ließen sich noch viele derartige Vermuthungen aufstellen, welchen man den nämlichen Grad von Wahrscheinlichkeit zuerkennen müßte, wie jener.

Das bessere Gedeihen der lichtbedürftigen Holzarten zwischen den schattenertragenden kann man auf eine ungezwungene Waise aus der Natur dieser Holzarten ableiten. Zuerst ist klar, daß die eingesprengte lichtbedürftige Holzart deshalb mehr in die Höhe schießen muß, weil ihr durch die Aeste der schattenertragenden, welche jene umgeben, das seitwärts einfallende Licht entzogen wird; es bleibt ihr nur das Oberlicht übrig und ihr Wachsthum muß diesem vorzugsweise folgen. Ebenso ist es nicht schwer, zu erklären, woher es komme, daß die lichtbedürftigen Holzarten in Untermischung mit den schattenertragenden größere Massenerträge liefern. Wie früher gezeigt wurde, magert der Boden in Beständen, welche rein aus lichtbedürftigen (dünnkronigen) Baumarten bestehen, aus; übernimmt aber eine schattenertragende (dichtkronige) Holzart den Schutz der Bodenkraft, so kann natürlich die lichtbedürftige in Untermischung mit ihr besser zuwachsen. Wir sehen also, daß die vorliegende Frage durch das Verhalten der Holzarten gegen das Licht vollkommen aufgehellt wird, und in der That sind die Anhänger der Wurzelsecretionshypothese genöthigt, den günstigen Einfluß der Wurzelausscheidungen nur auf die lichtbedürftigen Holzarten im Verhältniß zu den schattenertragenden zu beziehen, denn da von zweien oder mehreren lichtbedürftigen Baumarten, welche mit einander gemischt sind, immer die eine oder andere zu Grunde geht, so sind sie gezwungen, den Satz aufzustellen, daß eine lichtbedürftige Holzart die Wurzelausscheidungen jeder andern lichtbedürftigen Holzart nicht ertrage.

Indessen ziehen nicht blos die lichtbedürftigen Holzarten von den schattenertragenden Nutzen; unter gewissen Verhältnissen gedeiht sogar die schattenertragende besser in Untermischung mit einer lichtbedürftigen, als im reinen Bestande. So weiß man z. B., daß die Umwandlung von Kiefern in Buchen gewöhnlich ausgezeichnet gut geräth. Allein auch dieser Fall läßt sich erklä-

ren, ohne die Wurzelsecretionshypothese zu Hülfe zu nehmen. Die natürliche Verjüngung eines Buchenbestandes erfolgt häufig deßwegen schwieriger, als die Erziehung der Buche unter der Kiefer, weil die natürliche Verjüngung der Buche von dem günstigen Zusammentreffen vieler Umstände abhängt, von denen oft der eine oder der andere sich nicht zur rechten Zeit einstellt. Hat man z. B. in Erwartung eines Mastjahres eine Auslichtung vorgenommen und bleibt dieses längere Zeit aus, so vermagert der Boden und späterhin schlägt die Besamung nicht mehr an. Wollte man, wie dort bei der Kiefer, die Buche unter der Buche künstlich nachziehen, nachdem die Hoffnung auf ein Samenjahr fehlgeschlagen ist, so würde man häufig bessere Resultate erhalten.

Bodenschutzholz. In Beständen, welche ganz oder theilweise von lichtbedürftigen Holzarten gebildet werden, überzieht sich der Boden, namentlich in frischen Lagen, mit Sträuchern (Faulbaum, Wachholder, Schwarzdorn, Himbeeren ꝛc.) Diese Gewächse dienen zum Schutze des Bodens gegen Sonne und Wind, sie müssen sorgfältig erhalten werden. Man fürchte nicht, es würden dem Boden durch den Unterwuchs Nährstoffe entzogen, welche dem prädominirenden Bestand zu Gute gekommen sein würden; das Schutzholz wird ja nicht genutzt, es verwest an Ort und Stelle und nützt dem Oberholz, indem es den Boden mit Humus bereichert.

Man hat auch wohl vorgeschlagen, das Schutzholz künstlich anzuziehen, und dazu die schattenertragenden Baumarten (Tanne, Fichte, Buche, Hainbuche, Linde ꝛc.) zu benutzen, welche durch Einstutzen kurz zu erhalten wären. Allein diese Maßregel wird selten die aufgewendeten Kosten lohnen, weil die abgehauenen Aeste ꝛc. des Schutzholzes einen geringen Werth besitzen. Viel zweckmäßiger erscheint es, solche lichtbedürftige Holzarten, welche den Boden auf die Dauer nicht zu schützen vermögen, schon gleich bei der Bestandsbegründnng mit schattenertragenden zu mischen, oder, wenn sie bereits in reinen Beständen vorhanden sind, sie in schattenertragende umzuwandeln. Wenn z. B. ein reiner Kiefern- oder Eichenbestand sich so weit gelichtet hat, daß der Boden durch eine andere Holzart geschützt werden muß, so thut man besser, diese gerade in die Höhe wachsen zu lassen, anstatt sie einzustutzen. Die Kiefern oder Eichen werden dann nach und nach herausgenommen, und zuletzt bleibt ein reiner, oder wenn man will, ein gemischter Bestand übrig, in welchem die nachgezogene Holzart vorherrscht.

Waldmäntel. Zum Abhalten des Windes, welcher das abgefallene Baumlaub verweht und den Boden austrocknet, lassen sich häufig mit vielem Vortheil die sogenannten Waldmäntel anwenden. Zu diesen eignen sich vor allen andern Holzarten die Tanne und Fichte, weil sie einen dichten Baumschlag besitzen, und bis zu höhern Lebensaltern auch noch am untern Theil des Schaftes beastet bleiben. Zwei bis drei Baumreihen werden in der Mehrzahl der Fälle genügen, um einen tüchtigen Waldmantel zu bilden.

2. Maß der Bestandesdichte.

Wie wir oben gesehen haben, schützen die schattenertragenden Holzarten den Boden auf die Dauer deswegen am meisten, weil sie eine dichte Belaubung besitzen. Allein alle Vortheile, welche diese Holzarten in Bezug auf die Erhaltung der Bodenkraft bieten, gehen verloren, wenn man sie nicht geschlossen erzieht.

Cotta und nach ihm noch mehrere andere Schriftsteller wurden durch die Beobachtung, daß der Einzelstamm im freien Stande mehr zuwächst, als im Schlusse, zu der Ansicht verleitet, daß es gewinnbringender sei, die Bäume nicht, wie es G. L. Hartig angerathen hatte, in geschlossenen Beständen, sondern so räumlich zu erziehen, daß jeder Stamm von allen Seiten her das Licht genießen könne.

Wäre es auch erwiesen, daß die Bäume im räumlichen Stande mehr Masse lieferten, als im Schlusse, so müßten wir doch an der Regel G. L. Hartig's festhalten. Denn die Erfahrung hat gezeigt, daß der Boden stets ausmagert, wenn der Bestandesschluß nicht gewahrt ist. Sollte nun auch in der ersten Umtriebszeit ein größerer Ertrag erfolgen, so würden doch die spätern Umtriebszeiten um so weniger ergiebig ausfallen. Es bleibt daher überall da, wo, wie in Staatswaldungen, die Nachhaltigkeit als erste Wirthschaftsnorm gilt, die Anlage geschlossener Bestände die Regel, von welcher nur in besonderen Fällen, z. B. wenn die Holzzucht nicht der vorwiegende Zweck der Wirthschaft ist, Ausnahmen gemacht werden dürfen (Viehwaiden, Hackwaldungen rc.)

Allein die von Cotta und Andern beliebte Unterstellung, daß freistehende Bäume mehr Holz produzirten, als solche im geschlossenen Walde, ist unrichtig. Dies läßt sich schon a priori vermuthen, wenn man erwägt, daß der Zuwachsausfall des Einzelstamms im geschlossenen Bestande wieder durch die größere Stammzahl gedeckt wird. Indessen kann diese Vermuthung nur dann practischen Werth haben, wenn sie durch wirkliche comparative Untersuchungen ihre Begründung erhält. An solchen mangelt es in der That nicht.

Vor achtundzwanzig Jahren legte der Vater des Verf. Kiefernpflanzungen in verschiedenen Verbänden in der Absicht an, um zu ermitteln, bei welcher Pflanzweite am meisten Holzmasse erzeugt werde. Zur Versuchsstelle wurde eine Fläche von mehr als 12 Hectaren benutzt. Im Jahre 1851 untersuchte der Verf. die Holzmasse und den Zuwachs dieser Bestände. Es ergaben sich folgende Resultate:

Pflanzweite	Durchschnittszuwachs im 25ten Jahre
1,0 Meter	11,32 Kubikmeter Derbmasse pro Hectare
1,5 "	9,52 " " " "
2,0 "	8,58 " " " "
2,5 "	8,52 " " " "
3,0 "	7,06 " " " "

Man sieht also, daß der Ertrag mit der Pflanzweite abnimmt. Der Ausfall in den weiteren Verbänden kann nicht auf eine etwaige Ausmagerung des Bodens geschoben werden, denn die fr. Fläche war Blöße, ehe sie cultivirt wurde. Es ist auch nicht anzunehmen, daß der Boden in den engeren Verbänden so schnell gebessert worden sei, um diesem Umstand den höheren Zuwachsbetrag der engeren Pflanzweiten zuschreiben zu können. Der Mehrertrag der engeren Verbände kommt blos auf Rechnung der größeren Stammzahl.

Als der Verf. den Zuwachs eines gleichaltrigen Saatbestandes neben der vorgenannten Fläche untersuchte, fand er ihn mit dem Zuwachs des 2metrigen Verbandes nahe übereinstimmend. Der Ausfall im Verhältniß zu den Verbänden von 1,5 und 1,0 Metern rührt ohnzweifelhaft daher, weil Saatbestände selten so vollkommen sind, als Pflanzbestände; in der That hielt es dem Verf. schwer, aus vielen Saat-Districten eine Probefläche herauszufinden, welche nicht stellenweise mangelhaft bestockt gewesen wäre.

Lomler untersuchte den Holzmassengehalt von Fichtenpflanzungen im Königreich Sachsen, welche im Quadrat- und Reihenverband ausgeführt waren. Er gelangte zu folgenden Resultaten:

	Stammzahl pro Sächs. Acker	Durchschnittszuwachs im 26. Jahre pro Stamm	Durchschnittszuwachs im 26. Jahre pro Acker
Verbandpflanzung 4 F. Sächs.	3663	0,0405c'	177,4c'
Reihenpfl. mit 6 F. Entfern. der Reihen und 4 F. Entf. der Pflanzen in den Reihen.	2006	0,0618c'	132,6c'

	Stammzahl pro Sächs. Acker	Durchschnittszuwachs im 29. Jahre pro Stamm.	Durchschnittszuwachs im 29. Jahre pro Acker
Verbandpflanzung 4. F. Sächs	3854	0,0371c'	175,4c'
Reihenpfl. mit 15 F. 2 Z. Entf. der Reihen und 4 F. Entfern. der Pflanzen in den Reihen	1155	0,1007c'	168,7c'

Rheinewald bepflanzte im Jahr 1829 in der Sandebene nördlich von Mannheim 12 hess. Morgen mit Kiefern in 3—14 fußiger (Hess.) Pflanzweite. Im Jahr 1840, als die Pflanzen 14jährig waren, wurde eine Durchforstung vorgenommen und zugleich der Holzgehalt der 12 Abtheilungen bestimmt. Das Resultat, welches sich ergab, ist in der nachstehenden Tabelle verzeichnet.

Pflanzweite	Stammzahl Hauptbestand	Stammzahl Durchforstet und Abgang	Stammzahl Summe	Dimensionen des dominirenden Bestandes Durchm. in Brusthöhe Zoll	Dimensionen des dominirenden Bestandes Länge Fuß	Holzgehalt (heff. Kfß.) Hauptbestand	Holzgehalt (heff. Kfß.) Nutzung im Jahre 1840	Holzgehalt (heff. Kfß.) Summe
Fß.								
3	2878	622	3500	2	18	1141	380	1521
4	2074	698	2772	2½	18	933	346	1279
5	1518	198	1716	2½	19	1129	336	1465
6	1190	45	1235	2¾	19	997	356	1353
7	836	99	935	2¾	18	690	296	986
8	674	61	735	2¾	18	576	306	882
9	532	20	552	3	18	627	290	917
10	436	20	456	3	18	526	360	886
11	378	7	385	3	16	418	380	798
12	308	2	310	3	15	326	252	578
13	244	17	261	3¼	15	304	218	522
14	240	3	243	3½	13	321	238	559

Die wenigen Anomalien, welche die vorstehende Ertragsweise zeigt, mögen von der Verschiedenheit des Bodens und der Kleinheit der Probeflächen herrühren. Das ergibt sich aber mit der größten Bestimmtheit, daß der Ertrag mit der Pflanzweite abnimmt.

Wenn also die Rücksicht auf die Instandhaltung der Bodengüte uns anräth, die Bestände in vollkommenem Schlusse zu erziehen, so werden wir hierbei durch die Erfahrung unterstützt, welche uns lehrt, daß bei dieser Art der Bestandserziehung zugleich dem Boden die höchsten Erträge abgewonnen werden.

3. Auswahl der Betriebsart.

Von den verschiedenen Betriebsarten, welche in der Forstwirthschaft eingeführt sind, üben nicht alle einen gleich günstigen Einfluß auf die Erhaltung und Mehrung der Standortsgüte aus.

Diejenigen Betriebsarten, bei welchen der Boden öfter blosgelegt wird, wie der Hochwald-Kahlschlagbetrieb, der Nieder- und Mittelwaldbetrieb, erhalten die Bodenkraft nicht in dem Maße, als der Femel- und der Femelschlagbetrieb, bei welchen der Boden stets durch Holzpflanzen geschützt bleibt. Jeder kahle Abtrieb hat zur Folge, daß das den Boden bedeckende abgefallene Baumlaub vom Winde verweht wird, oder daß es, sowie das Moos, welches sich unter Nadelholzbeständen erzeugt hat, schnell verwest, denn nun können die Meteorwasser, welche früher von dem Kronendache aufgefangen wurden, ungehindert zum Boden gelangen. Laub und Moos tragen dann am meisten zur

Instandhaltung und Vermehrung der Tiefgründigkeit bei, wenn sie noch nicht ganz verwest sind, denn auf die mineralischen Bestandtheile des Humus, welche durch den Verwesungsprozeß in Freiheit gesetzt werden, kommt es in der Forstwirthschaft weniger an. Nur in dem sehr seltenen Falle, daß der Boden von einer allzu hohen Laub- oder Moosschichte bedeckt wäre, mag eine schnellere Zersetzung derselben erwünscht sein.

In mehreren Lehrbüchern des Waldbau's findet man für flachgründige Standorte den Niederwaldbetrieb empfohlen. Man hatte hierbei wahrscheinlich nur die Eiche im Auge, welche allerdings gewöhnlich kein Höhenwachsthum entwickelt, wenn die Pfahlwurzelbildung bei ihr unterdrückt ist. Indessen gibt es noch andere Holzarten ohne Pfahlwurzel, wie z. B. die Buche, deren Anzucht auf flachgründigem Boden ohne verhältnißmäßigen Nachtheil für den Höhewuchs gelingt.

Diese Holzarten sollte man, wenn es die Interessen des Waldeigenthümers sonst zulassen, auf flachgründigem Boden mit dem Hochwaldbetrieb bewirthschaften, denn letzterer ist weit mehr, als der Niederwaldbetrieb, geeignet, durch Aufspeicherung von Humus die Tiefgründigkeit zu vermehren und den Boden gegen die Abschwemmung der oberen, lockereren Erdlagen zu schützen, während die Flachgründigkeit des Bodens, namentlich in geneigten Lagen, bei jedem Abtrieb des Niederwaldes durch die niederstürzenden Meteorwasser befördert wird.

Die gebräuchlichste Holzart für den Niederwaldbetrieb ist bekanntlich die Eiche, theils wegen des werthvollen Ertrags an Lohrinde, theils wegen ihres starken Reproductionsvermögens. Nun gehört aber die Eiche zu denjenigen Baumhölzern, welche wegen ihres dünnen Baumschlages sich selbst beim Hochwaldbetriebe nicht zu reinen Beständen eignen, weil der Boden unter ihr mit der Zeit vermagert. Wie viel weniger kann daher diese Holzart im Niederwalde die Bodenkraft erhalten! Man sollte daher stets dafür sorgen, daß in die Eichenniederwaldungen noch andere, bodenbessernde Holzarten eingesprengt werden. In den Nieder- (Hack-) Waldungen des Odenwaldes findet sich die Hasel als natürliche Gesellschafterin der Eiche. Es dürfte sich empfehlen, die Hasel da, wo sie fehlt, künstlich anzuziehen, zumal da die Hasellohden sich auch recht vortheilhaft verwerthen lassen, z. B. zu Faßreifen.

Der Femelschlagbetrieb (mit natürlicher Verjüngung der übergehaltenen Mutterbäume) zeichnet sich aber nur dann durch seine Fähigkeit, die Bodenkraft zu erhalten, vor dem Niederwald-, Mittelwald- und Kahlschlagbetriebe aus, wenn man bei der Stellung des Vorhiebes und des Samenschlages mit der nöthigen Vorsicht zu Werke geht, so daß die Besamung zur rechten Zeit und in gehörigem Maße erfolgt, und wenn überhaupt die Oertlichkeit der natürlichen Verjüngung nicht im Wege steht. Häufig werden aber die für die Besamung vorbereiteten Schläge zu lange übergehalten, und dies auf Localitäten, denen man es gleich von vorn herein mit Bestimmtheit hätte ansehen

können, daß der Samen auf ihnen nicht anschlagen würde. Unter solchen Umständen leistet der Kahlschlagbetrieb mit sofortiger künstlicher Cultur mehr für die Erhaltung der Bodenkraft, als der Femelschlagbetrieb.

Beim Mittelwaldbetrieb wird der Boden mehr geschützt, als bei der Niederwaldwirthschaft; indessen sind die Vortheile, welche man in jener Hinsicht von den Oberständern in den Mittelwaldungen zu erwarten hat, häufig überschätzt worden. Es mangelt den Oberständern doch stets der gedrängte Schluß, in welchem die Bäume eines Hochwaldes sich befinden.

4. Umtriebszeit.

Kurze Umtriebszeiten haben den Nachtheil, daß bei ihnen der Boden zu oft blosgelegt wird; dagegen magert auch bei hohen Umtriebszeiten der Boden leicht aus, weil alle Holzarten in höherem Alter sich licht zu stellen pflegen. Am frühesten erfolgt die natürliche Auslichtung bei den lichtbedürftigen Holzarten. Deßhalb sollte man diese Holzarten dann, wenn man eine oder die andere von ihnen, wie z. B. die Kiefer, in reinen Beständen erzieht, mit niederem Umtrieb bewirthschaften, oder, was für die Erhaltung der Bodenkraft noch vorzüglicher und auch öfters zugleich lucrativer ist, bald eine bodenbessernde schattenertragende Holzart (Buche, Tanne, Fichte) einsprengen. Die Erziehung von sehr starkem Eichenbauholz läßt sich, ohne Gefährdung der Bodenkraft, nur in der vorgedachten Weise erreichen.

5. Maßstab für die Zwischennutzungen.

Unter den Zwischennutzungen versteht man alle Fällungen, welche den eigentlichen Haubarkeitshieben vorangehen, unter den Durchforstungen insbesondere begreift man die Herausnahme des dürren und unterdrückten Holzes.

Die Durchforstungen gewähren in der Regel durch die Holzmasse, welche man bei ihnen gewinnt, einen großen Nutzen für den Waldeigenthümer, nicht minder beachtenswerth ist der Vortheil, welchen der Aushieb des dürren und unterdrückten Holzes in Bezug auf den bleibenden Bestand liefert. Der Einzelstamm in diesem erstarkt rascher, weil ihm nun mehr Licht zukommt; in Folge dessen widersteht er zugleich den Gefahren des Windwurfs, Schneedrucks 2c. leichter.

Schon die Beobachtung, daß die größte Holzmassenerzeugung unter sonst gleichen Umständen von der Stammzahl abhängt, leitet auf die Regel hin, die Durchforstungen auf die Nutzung des dürren und unterdrückten Holzes zu beschränken, welches wegen Mangel an Licht nicht mehr fähig ist, Kohlensäure zu assimiliren und in Holz umzubilden. Zur Aufstellung dieser Regel gibt aber auch die Rücksicht auf die Instandhaltung der Bodenkraft Veranlassung. Ueberall da, wo der Bestandesschluß unterbrochen ist, wirken die Sonne und der Wind frei auf den Boden ein, sie entführen die Feuchtigkeit und hindern die Aufspeicherung von Humus.

Abweichend von dieser Regel, welche zuerst mit voller Bestimmtheit und Klarheit von Georg Ludwig Hartig ausgesprochen worden ist, ertheilte Heinrich Cotta die Vorschrift, zu den Durchforstungen auch diejenigen Stämme beizuziehen, von denen, wenn sie auch noch nicht völlig unterdrückt seien, doch nach ihrer Stellung und ihrem Habitus erwartet werden könne, daß sie bald eingehen würden. Solche „beherrschte" Stämme sollten also zugleich mit den dürren und unterdrückten entfernt werden.

Abgesehen davon, daß die Cotta'sche Regel bei ihrer practischen Anwendung auf große Schwierigkeiten stößt, indem sie dem Wirthschafter einen ungemessenen und deßhalb leicht zu mißbrauchenden Spielraum gewährt, muß sie aber auch wegen der Nachtheile, welche ihre Befolgung in Bezug auf die Bodenkraft herbeiführen würde, verworfen werden. Denn ausgenommen den Aushieb von verdämmenden eingewachsenen Holzarten, hat die Hinwegnahme von noch nicht unterdrückten Stämmen stets eine Unterbrechung des Kronenschlusses im Gefolge.

6. Natürliche und künstliche Verjüngung.

Wie unter 3. angegeben, erhält sich die Bodenkraft bei natürlicher Verjüngung der Bestände und auf den dazu geeigneten Standorten eher, als bei der Anlage von Kahlschlägen und der durch sie gewöhnlich bedingten künstlichen Aufforstung. Doch erfüllt, wie gleichfalls schon früher angedeutet wurde, die natürliche Verjüngung nur dann ihren Zweck, wenn sie rechtzeitig erfolgt. Bleiben die ausgelichteten Bestände längere Zeit liegen, ohne daß ein Samenjahr eintritt, oder ist die Beschaffenheit des Bodens dem Anschlagen der Besamung nicht günstig, so vermagert der Boden unter dem unvollkommenen Schutze der Oberständer weit mehr, als beim Kahlschlagbetriebe und sogleich nachfolgender künstlicher Cultur.

Man sollte deßhalb in dem Falle, daß die natürliche Verjüngung zur rechten Zeit kein günstiges Resultat geliefert hat, sogleich zur künstlichen Bestandsbegründung schreiten.

Am wenigsten eignen sich zur natürlichen Verjüngung durch Samen die lichtbedürftigen Holzarten, und in den von ihnen gebildeten Samen- und Abtriebsschlägen leidet die Bodenkraft gewöhnlich außerordentlich Noth. Die Natur dieser Holzarten verlangt, daß die Schläge sehr licht gestellt werden; die Unterbrechung des Bestandsschlusses und der weitere Umstand, daß in unmittelbarer Nähe der Mutterbäume keine jungen Pflanzen aufkommen, wirken auf die Verschlechterung des Bodens hin. Man sollte deßhalb die lichtbedürftigen Holzarten mit Rücksicht auf die Erhaltung der Bodenkraft nur künstlich verjüngen.

7. Wechsel der Holzarten.

Wie wir wissen, findet in der Landwirthschaft ein regelmäßiger Wechsel

mit den anzubauenden Pflanzen statt. Die Erfahrung hat gelehrt, daß die Felderträge nachlassen, wenn eines und das nämliche Gewächs fortwährend auf derselben Fläche cultivirt wird.

Sicher ist es, daß die Wechselwirthschaft in der Agricultur sich auf die Verschiedenartigkeit der Stoffe gründet, welche die Pflanzen dem Boden entziehen — einerlei, ob man unter diesen Stoffen die Mineralbestandtheile oder den Stickstoff verstehe — denn durch Anwendung von Dünger kann man den Zeitraum, innerhalb welches eine gewisse Pflanze ohne Nachtheil fortwährend sich anbauen läßt, verlängern.

Schon der Umstand, daß die Waldbäume dem Boden so wenig an anorganischen Bestandtheilen und Stickstoff entziehen, läßt vermuthen, daß ein regelmäßiger Wechsel der Holzarten nicht nothwendig sei. Dieser Schluß wird durch die Erfahrung bestätigt. Wir kennen mehrere Holzarten (Tanne, Fichte, Buche ꝛc.), welche seit unvordenklichen Zeiten gewisse Standorte ohne Unterbrechung bewohnen, ohne daß der Boden sich verschlechtert hätte. Ja man findet sogar, daß die Bodenkraft um so mehr zunimmt, je länger diese Holzarten den Standort einnehmen. Hieraus folgt also, daß der Boden durch die Waldbäume nicht in der Weise ausgesogen wird, wie dies bei den Feldgewächsen der Fall ist. Fände in der That eine schädliche Verminderung der anorganischen Bestandtheile oder des Stickstoffs durch die Baumcultur statt, so müßte sich jene auf einen geringeren Betrag zurückführen lassen, wenn man die Bäume nicht, wie es bis jetzt üblich ist, geschlossen, sondern räumlich erzöge. Nun weist aber die Erfahrung überall nach, daß gerade in dem letzteren Falle der Boden sich verschlechtert.

Wir besitzen einige Holzarten, wie die Birke, die Rüster, die Pappeln, die Ahorne ꝛc., unter denen der Boden ausmagert, wenn man sie längere Zeit auf derselben Fläche cultivirt. Nach dem Vorhergehenden kann man die Ursache dieser Erscheinung nicht etwa in einer Aussaugung des Bodens erblicken, denn merkwürdiger Weise erhält sich dieser um so länger in Kraft, je geschlossener man jene Holzarten erzieht. Uebereinstimmend mit den Beobachtungen, welche man hinsichtlich der Verschlechterung des Bodens bei den dichtkronigen Baumarten, wenn diese räumlich aufwachsen, gemacht hat, muß man annehmen, daß die oben genannten Holzarten blos wegen ihres dünnen Baumschlags die Bodenkraft nicht zu schützen und zu mehren vermögen. Sie werfen zu wenig Laub ab, sie gestatten dem Sonnenlicht, welches die Feuchtigkeit aufzehrt, und dem Winde, der das Nämliche bewirkt, und außerdem das abgefallene Laub entführt, Zutritt in die Bestände.

Ist die Bodengüte durch den reinen Anbau einer dieser Holzarten, welche man stets nur in gemischten Beständen erziehen sollte, vermindert worden, so muß man eine andere Holzart an ihre Stelle setzen. Hierauf beschränkt sich, vom Standpunkte der Bodenkunde aus betrachtet, die Wechselwirthschaft in der Forstwirthschaft. Sie hat in der That nur den Namen mit der Wech-

selwirthschaft der Agricultur gemein, denn sie wird durch ganz andere Umstände hervorgerufen. Wenn man sich bei der Auswahl der Holzarten stets durch die gehörige Rücksicht auf die Instandhaltung der Bodenkraft und auf die Ansprüche, welche die Holzarten an den Boden machen, leiten ließe, und wenn alle Irrungen in letzterer Hinsicht unvermeidlich wären, so würde ein Wechsel mit den Holzarten nur durch einen Wechsel des Preises, oder des Gebrauchswerthes der Hölzer oder durch eine bessere Erkenntniß des für eine Holzart sich eignenden Standortes bedingt werden können.

Hat sich einmal die Umwandlung einer Holzart in eine andere als nothwendig herausgestellt, so kann man schon durch das zur Umwandlung einzuhaltende Verfahren sehr wesentlich auf die Verbesserung der Bodenkraft einwirken. Soll eine dichtkronige Holzart, z. B. weil ihr der Standort nicht angemessen ist, durch eine bodenbessernde lichtbedürftige ersetzt werden, so muß man jene erst rein abtreiben, ehe man mit der Cultur beginnt. Denn wollte man die lichtbedürftige Holzart unter dem Schirm der dichtkronigen, z. B. die Kiefer unter der Buche, cultiviren, so würde jene nicht anschlagen, also der Boden noch längere Zeit unbeschützt bleiben. Liegt dagegen die Aufgabe vor, an die Stelle einer dünnkronigen Holzart eine schattenertragende zu bringen, so wird man jene vorerst, so weit es überhaupt thunlich ist, überhalten und unter ihrem Schutze die schattenertragende anbauen. Alsdann trägt die zu verdrängende Holzart neben dem neuen Anwuchse immer noch zur Deckung des Bodens bei. Ein rücksichtsloses Abholzen des umzuwandelnden Bestandes würde einestheils die Bodenkraft schwächen, zum andern aber auch die Anzucht der schattenbedürftigen Holzart erschweren.

In der Natur lassen sich häufig Umwandlungen von einer Holzart in eine andere beobachten, welche ohne unmittelbares Einschreiten des Menschen stattfinden, und zwar kann unter den geeigneten Verhältnissen jede Holzart in jede andere übergehen.

Am häufigsten wird die natürliche Umwandlung der Holzarten durch die verschiedene Schnellwüchsigkeit derselben, sowie durch ein abweichendes Verhalten gegen Licht und Schatten bedingt. Von diesem Gesichtspunkte ausgehend, wollen wir jetzt die am gewöhnlichsten vorkommenden Fälle des natürlichen Wechsels unserer Baumarten betrachten.

Kommen zwei oder mehrere schattenertragende Holzarten neben einander auf derselben Fläche vor, so wird leicht die langsamwüchsige von der schnellwüchsigeren unterdrückt. So leidet z. B. die Buche im Harzgebirge öfters von der Fichte, namentlich auf einem durch Streurechen entkräfteten Boden, Noth, weil dort die Buche bald von der Fichte dauernd überflügelt wird, wenn auch die Buche in früher Jugend einen Vorsprung vor der Fichte besitzt. In einigen Lagen des Schwarzwalds dagegen, wo die Buche sich schon von Jugend auf viel rascher entwickelt, und auch späterhin ein kräftiges Höhenwachsthum beibehält, findet man nicht selten, daß die Fichte und Tanne von der Buche unterdrückt

werden, und daß Bestände, welche diese Holzarten unter einander gemischt enthalten, in reine Buchenbestände übergehen.

Schattenertragende Holzarten wandeln sich in lichtbedürftige in zwei Fällen um: erstens, wenn die lichtbedürftige Holzart schnellwüchsiger ist und sich in einen aus schattenertragenden Holzarten gebildeten Bestand reichlich eindrängt; zweitens, wenn der Boden durch Lichtstellung, Streuentzug oder andere Ursachen so entkräftet worden ist, daß sich die ungenügsame schattenertragende Holzart auf ihm nicht mehr zu halten vermag. Schlägt hier die Verjüngung nicht mehr an, entstehen Lücken und Blößen in dem Bestande, so kann sich auf diesem eine lichtbedürftige Holzart, welche weniger Ansprüche auf Bodengüte macht, entwickeln. Als Beispiel für diese beiden Fälle führen wir das oft zu beobachtende Verdrängen der Buche durch die sogenannten Weichhölzer an.

Sind zwei lichtbedürftige Holzarten mit einander gemischt, so geht, wenn der Boden nicht außerordentlich kräftig ist, stets die langsamwüchsigere ein. So erhält z. B. im Vogelsgebirge in den aus Kiefern und Lärchen gemischten Beständen zuletzt die Lärche die Oberhand, während der Verf. auch den umgekehrten Fall auf dem trocknen Sandboden einiger Gegenden von Norddeutschland, wo die Kiefer öfter schnellwüchsiger ist, als die Lärche, zu beobachten Gelegenheit hatte.

Auf kräftigen Bodenarten wandeln sich lichtbedürftige Holzarten sehr häufig in schattenertragende um. Diese drängen sich in jene ein, und wachsen mit ihnen in die Höhe; kommt nun die Zeit der natürlichen Verjüngung, so können sich die aufgekeimten Pflanzen der lichtbedürftigen Holzart nicht unter dem dichten Schirm der schattenertragenden entwickeln, und die letztere bildet sodann den vorherrschenden oder gar einen reinen Bestand. Als Beispiel für diese Art der Umwandlung nennen wir das Verdrängen der Kiefer durch die Buche auf dem frischen tiefgründigen Lehmboden des Vogelsgebirges und Westerwaldes.

In allen diesen Fällen erfolgt, was wir wohl zu beachten bitten, der Wechsel der Holzarten niemals dadurch, daß etwa eine derselben den Boden ausgesogen hätte. Es gibt also auch die natürliche Umwandlung der Holzarten keine Veranlassung zur Begründung eines r e g e l m ä ß i g e n Wechsels mit den Holzarten; dieser bleibt, wie wir oben ausgeführt haben, stets nur auf einige Ausnahmsfälle beschränkt.

8. Beseitigung oder Einschränkung der Waldstreunutzung.

a. Schädlichkeit dieser Nutzung.

Die Landwirthschaft sucht dem Boden ein Maximum von Producten abzugewinnen; sie entzieht demselben eine Summe von anorganischen Substanzen und Stickstoff, die wieder ersetzt werden muß, wenn der Acker fortwährend reiche Erndten liefern soll. Nur auf sehr wenigen Localitäten vermag der

Boden diesen Ersatz selbst zu leisten; im andern Falle wird er durch die künstliche Düngung bewerkstelligt. Die Bodenbearbeitung kann blos die im Boden befindlichen Nährstoffe zum Aufschluß bringen, sie kann dieselben aber nicht schaffen, und die Brache, welche die Möglichkeit gibt, von Zeit zu Zeit eine gute Erndte zu erhalten, schiebt eigentlich die Bodenerschöpfung nur auf einen entfernteren Zeitpunct hinaus.

Die Mehrzahl der landwirthschaftlichen Producte, z. B. die Handelspflanzen, ein großer Theil des Getreides &c., wird ausgeführt.

Um dem Felde die Stoffe, welche es hierdurch verloren hat, wieder zu ersetzen, bedarf deßhalb jedes Gut, das sich in Stand erhalten will, eine gewisse Fläche von Wiesen, oder es muß einen Theil seiner Aecker dem Anbau von Futterkräutern widmen, es muß mit diesen und mit dem Gras und Heu eine gewisse Anzahl Vieh ernähren, damit der nöthige Dünger erzeugt werde.

Fehlen die Wiesen, wie z. B. in Gebirgsgegenden mit engen Thälern, oder ist die Güterzerstückelung so weit vorgeschritten, daß die Feldbesitzer keine Futterkräuter erziehen können, so tritt das Bedürfniß nach Waldstreu ein. Diese wird dann namentlich von den Kleinbauern verlangt, welche genöthigt sind, ihr Stroh zum Theil oder ganz zu verkaufen, um sich baare Mittel zu verschaffen.

Die Streuanforderungen werden, wie sich von selbst versteht, am größten sein in solchen Gegenden, welche einen mineralisch unkräftigen Boden besitzen. Deßhalb finden wir die Streunutzung im ausgedehntesten Maße eingeführt auf Sandboden.

Nach Demjenigen, was im Vorhergehenden über den Nutzen des Humus bemerkt worden ist, wird man es begreiflich finden, daß die Streunutzung die Bodenkraft schmälert. Dies hat auch die Erfahrung bestätigt. Nur an wenigen Orten, wo ein Uebermaß von Humus vorhanden ist (wie z. B. in Mulden, in denen das zusammengewehte Laub sich oft sehr anhäuft), möchte eine theilweise (nie eine gänzliche) Entziehung der Streu ohne Schaden sein.

Im Gegensatz zur Landwirthschaft müssen wir die verderblichen Folgen der Streunutzung in Bezug auf den Wald nicht in einer Verminderung der mineralischen Kraft des Bodens, sondern vielmehr darin suchen, daß derselbe an Tiefgründigkeit und Lockerheit verliert und daß das Erdreich nicht mehr gegen die Verflüchtigung der Feuchtigkeit geschützt ist. Dazu kommt noch, daß die Wurzeln der Holzgewächse öfters von Frost leiden, wenn sie durch das Streurechen blosgelegt worden sind.

Die Streunutzung schadet der Waldwirthschaft in zweifacher Weise. Sie erschwert auf einem Boden, welcher von ihr gelitten hat, die Verjüngung der Bestände, vorzugsweise die natürliche, und sie bewirkt einen Ausfall am Zuwachse des stehenden Holzes. Außerdem versetzt sie, wenn sie in zu großem Maße ausgeübt wird, die Bestände in einen krankhaften Zustand, und öffnet dadurch den dem Wald gefährlichen Insecten Thür und Thor.

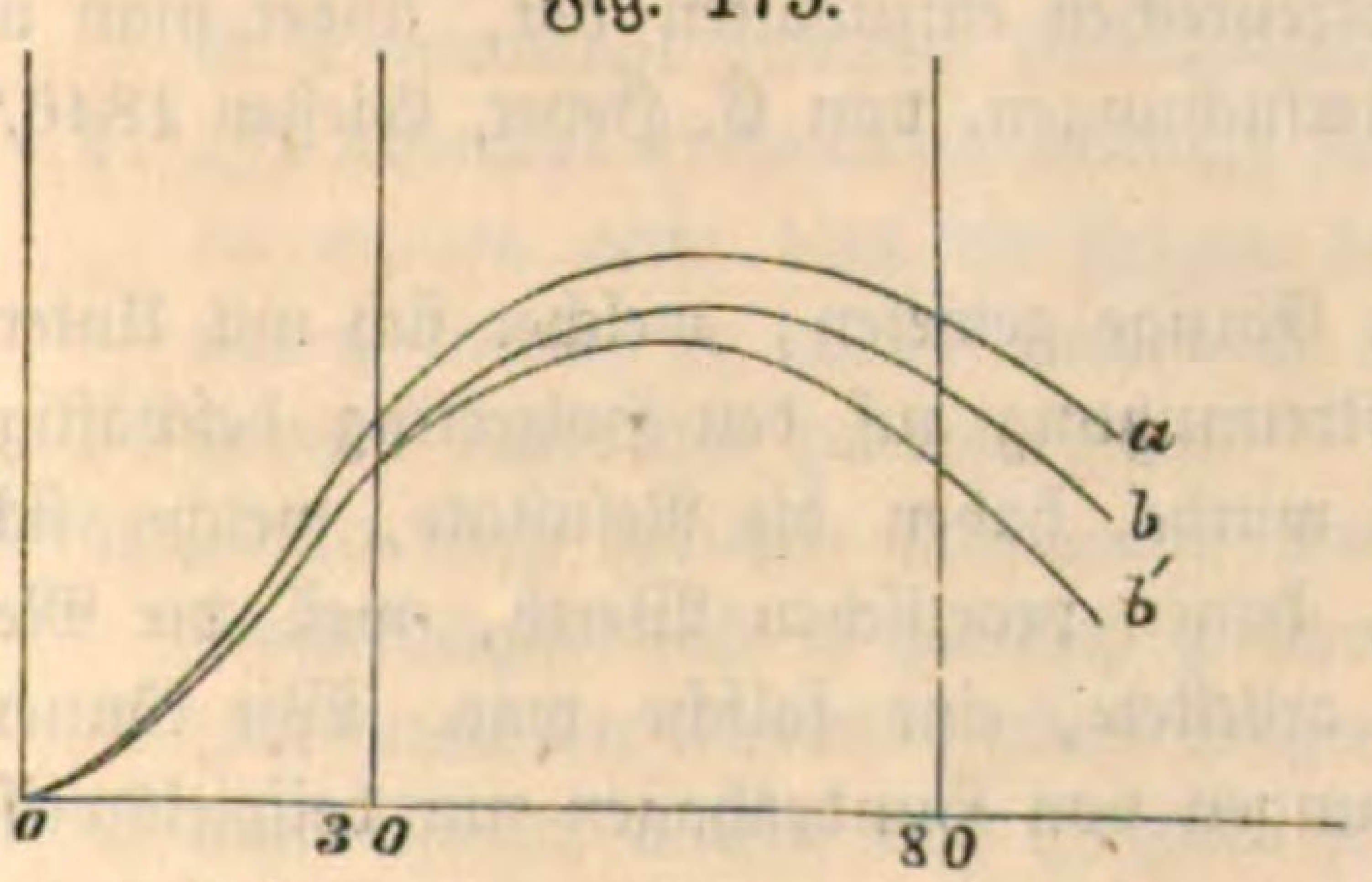
Leider fehlen über das Maß, in welchem die Streunutzung dem Walde schadet, alle genaueren Untersuchungen, und selbst das Wenige, welches der verdienstvolle Hundeshagen zur Lösung dieser Frage beigebracht hat, kann nicht als entscheidend angesehen werden.

Um die Schädlichkeit der Streunutzung quantitativ festzustellen, reicht man mit bloßen Beobachtungen nicht aus, es müssen förmlich comparative Untersuchungen unternommen werden. Vor allem ist es nöthig, sich darüber zu vergewissern, daß die Standortsgüte der beiden Flächen, von denen die eine auf Streu genutzt wird, in so weit übereinstimmt, daß eine Vergleichung zulässig erscheint. Hundeshagen fehlte darin, daß er die Zuwachsdifferenz, welche ein auf Streu benutzter Bestand im Gegensatz zu einem andern, in welchem das Streurechen unterblieben war, zeigte, ganz auf Rechnung der Streunutzung schrieb, ohne sich vergewissert zu haben, ob der Zuwachs der beiden Bestände vor dem Eintritt der Streunutzung der nämliche war. Selbst wenn man im Stande wäre (was übrigens bei der jetzigen Ausbildung der forstlichen Bodenkunde und Klimatologie geradezu unmöglich ist), die Identität zweier Flächen in Bezug auf Boden, Lage und Klima nachzuweisen, so würde mit jener doch noch nicht die Gleichheit des Zuwachses vor dem Versuch bewiesen sein, weil die Holzmassenerzeugung eines Bestandes nicht blos von den Factoren der Standortsgüte, sondern auch — selbst bei der nämlichen Holzart und Betriebsart — von dem Bestockungsverhältniß, der Begründungs- und Waldbehandlungsart abhängt.

Indessen ist es nicht nöthig, daß derjenige Bestand, welcher intact bleiben und zur Vergleichung mit dem andern, auf Streu zu nutzenden Bestand, dienen soll, vor dem Beginne des Versuches genau den nämlichen Zuwachs, wie dieser, zeige; es ist nur erforderlich, daß der Zuwachs*gang* der beiden Bestände derselbe sei. Ist dieses der Fall, dann läßt sich der erste Bestand stets als Weiser für das normale Wachsthum des andern benutzen.

Denken wir uns (Fig. 173) den Zuwachsgang der beiden Bestände durch Curven vorgestellt, deren Abscissen die fortschreitenden Altersjahre, deren Ordinaten die Durchschnittszuwachse, welche jenen entsprechen, vorstellen, so wird der Bestand a dann als Weiser für b dienen können, wenn die Curve b der Curve a ähnlich ist. Nehmen wir nun an, die Zuwachscurve des auf Streu benutzten Bestandes b sei b′, so werden wir blos beim Beginn des Versuches eine Ordinate von b erhalten, später können wir blos die Ordinaten von a und b′ beobachten. Ist es aber ausgemacht, daß a und b ähnlich sind, so genügt es, den Quotienten zwischen a und b einmal aufzu-

Fig. 173.



suchen, um mit Hülfe desselben und der jederzeit durch eine Holzmassenaufnahme leicht festzustellenden Ordinate von a die Ordinate von b zu finden.

Nehmen wir z. B. an, man habe im 30. Altersjahr der beiden Bestände den Durchschnittszuwachs von a pro Morgen = 100 Cubikfußen, den von b = 90 Cubikfußen gefunden; nun sei b auf Streu benutzt worden und sein Zuwachs hiedurch auf den Betrag von b′ gesunken. Im 80. Jahre habe man wieder eine Holzmassenaufnahme vorgenommen, und den Durchschnittszuwachs von a = 120, von b′ = 92 gefunden, so würde der Zuwachs von b′ wenn keine Streu genutzt worden wäre $= \frac{90}{100} \cdot 120 = 0{,}9.\ 120 = 108$ gewesen sein. Er war aber in Wirklichkeit = 92, folglich hat der Streuentzug vom 30. bis 80. Jahre eine Verminderung des Durchschnittszuwachses um den Betrag von 108 — 92 = 16 Cubikfußen verursacht, und die Haubarkeitsmasse hätte sich um 80. 108—80. 92=1280 Cubikfuße verringert.

Man wird selten in einem Bestande zwei Probeflächen von angemessener Größe finden, welche, wenn sie schon sonst zu Versuchen über die Schädlichkeit des Streurechens geeignet sind, doch auch zugleich vor dem Beginn des Versuches genau den nämlichen Durchschnittszuwachs besitzen. Dies ist aber auch gar nicht nöthig; damit der Versuch ein richtiges Resultat liefere, hat man nur darauf zu sehen, daß der Zuwachsgang der nämliche sei; dann läßt sich mittelst des soeben angegebenen Verfahrens leicht ausfindig machen, welchen Zuwachs der dem Streuentzug unterworfene Bestand im normalen Zustande gehabt hätte.

Will man zu den in Frage stehenden Versuchen Flächen von größerer Ausdehnung, z. B. ganze Districte, oder Wirthschaftsganze benutzen, so ist dies nur in dem Falle zuläßig, daß man die Gleichheit des Zuwachsgangs der zu vergleichenden Flächen vorher genau nachgewiesen habe. Dies wird aber nur sehr selten möglich sein; wir sind daher der Ansicht, daß zu solchen Versuchen kleine, dicht neben einander liegende Flächen von etwa ¼—1 Hectare sich viel mehr eignen.

Eine ausführliche Anweisung über das Verfahren, welches man bei Anstellung von Versuchen über das Streurechen einzuhalten hat, findet man in der „Anleitung zu forststatischen Untersuchungen, von C. Heyer, Gießen 1846," S. 162.

Hundeshagen ist bis jetzt der Einzige gewesen, welcher sich mit Untersuchungen über den Einfluß der Streunutzung auf den Holzertrag beschäftigt hat. Aber wie schon oben bemerkt wurde, haben die Resultate, welche sich aus seinen Untersuchungen ergeben, keinen practischen Werth, weil die Methode, nach welcher Hundeshagen arbeitete, eine falsche war. Wir können deßhalb die Resultate der Untersuchungen von Hundeshagen nur beispielsweise anführen.

Betriebsart		Hochwald		Mittelwald
Holzart, Boden ꝛc.	Umtriebs-zeit. Jahre	Buchen auf Sandstein	Buchen auf Kalk u. Basalt	Buchen auf Sand-stein und Kalk
Durchschnittszuwachs incl. Zwischennutzungen . .		60 Kbf.	45 Kbf.	40 Kbf.
Durchschn. Laubabfall durch die ganze Umtriebszeit jährlich		20 Cntr.	15 Cntr.	18 Cntr.
Einhundert Pfunde jährliche Streulaubnutzung bewirken bei nachstehenden Umtriebszeiten einen Verlust an dem oben angegebenen Durchschnittszuwachs von	120	7 Kbf.	5 Kbf.	—
	100	6 „	4 „	—
	80	5 „	3 „	—
	30	— —	— —	2—3 Kbf.

Die Sätze, welche Hundeshagen über den Einfluß des Streurechens auf den Holzertrag ausgesprochen hat, sind zum Theil nichts anderes, als die Consequenzen seiner Ansichten auf dem Gebiet der forstlichen Bodenkunde; die wenigsten gründen sich auf directe Untersuchungen. Wir lassen diese Sätze hier folgen.

1) „Der Holzertragsverlust ist der Masse nach bei einerlei Holz- und Betriebsart und Bodengüte der Streumenge unverändert proportional, die im Durchschnitt auf jedes Jahr der ganzen Umtriebszeit aus dem Waldbestande entnommen wird."

Auf wie schwachen Füßen dieser Satz steht, läßt sich leicht ersehen, wenn man annimmt, es werde die sämmtliche Streumenge auf Sandstein im Betrag von 20 Cntrn. jährlich dem Walde entnommen. Der Holzertragsverlust würde nach Hundeshagen 20.7=140 Kubikfuße ausmachen, während in Wirklichkeit nur 60 Kubikfuße im Ganzen, ohne Streuentzug, zuwachsen.

2) u. 3) „Je frischer der Boden ist, um so weniger beträgt der durch einerlei Streumenge bewirkte Ertragsverlust."

4) „Je schlechter (besonders trockner) der Boden ist, um so früher und stärker werden nicht blos die Folgen des Streurechens bemerklich, sondern um so länger ist davon auch noch eine schädliche Nachwirkung bis zum spätern Alter hin zu befürchten."

5) „Unter sonst gleichen Umständen und Streumengen vergrößert sich der Holzertragsverlust in ziemlich gleichem Verhältnisse, wie die Längen oder Zeiträume der Umtriebszeiten länger werden."

6) „Bei einerlei Boden und Holzart ist der mit gleichen Streumengen verbundene Holzertragsverlust in dem Verhältniß von 2:4 oder auch 3:4

kleiner im Mittelwald von 30—40jährigem Umtriebe, als im Hochwalde bei 80—100jähr. Umtriebe."

7) „Bei Beständen, die von Jugend auf einem mit Rasen, Heide 2c. überzogenen Boden im lichten oder freien Stande verlebten, wie z. B. Pflanzungen 2c., hat sich bis dahin noch kein Ertragsverlust sogar für den Fall bemerklich gemacht, als man denselben allen Laubabfall entzieht."

8) „Ohngeachtet junge Holzbestände noch flacher als ältere wurzeln, so schadet denselben auf frischem Boden das Laubrechen bei außerdem dichtem Schlusse, der die Feuchtigkeit erhalten hilft, dennoch weniger, als älteren schon mehrfach durchforsteten und dem austrocknenden Luftzug mehr geöffneten Beständen; umgekehrt verhält sich dies aber auf schlechtem und ursprünglich schon trockenem Boden und Lage."

9) „Der dem Boden durch die Streunutzung zugezogene Kraftverlust ist um so größer, je kürzere Zeit es nach dem Abfallen am Boden gelegen hat."

Obgleich einige von diesen Sätzen plausibel erscheinen, so bedürfen sie doch alle der Bestätigung durch directe comparative Untersuchungen. So lange diese überhaupt fehlen, soll man sich jedes Urtheils über das Maß des Schadens, welches der Streuentzug in Bezug auf das Holzwachsthum ausübt, enthalten.

b. Maßregeln zur Beseitigung oder Beschränkung der Streunutzung.

Das Streurechen gründet sich entweder auf Berechtigungen, oder es ist die Folge einer Vergünstigung, welche der Waldeigenthümer der Landwirthschaft an solchen Orten gewährt, wo es derselben an den nöthigen Streumitteln mangelt.

In dem ersten Falle ist die gänzliche Beseitigung des Streurechens nur durch die Ablösung der Berechtigung zu bewirken. Hierzu ist aber in den meisten Fällen die Einwilligung des Berechtigten erforderlich. Sollte diese nicht erfolgen, so ist es doch häufig möglich, das Maß der Streunutzung so weit zu beschränken, daß der gänzliche Ruin des pflichtigen Waldes aufgehalten wird. Nach Römischem Rechte soll nämlich jede Servitut modeste et civiliter und so ausgeübt werden, daß die Substanz des Gutes, auf welcher die Servitut lastet, nicht zerstört wird. Nun ist aber durch die Erfahrung zur Genüge dargethan, daß ein unmäßiger Streuentzug auf trocknem und flachgründigem Terrain den Boden zuletzt gänzlich ungeschickt macht zur natürlichen Verjüngung und sogar zur Holzerzeugung. Hier kann also der Waldeigenthümer verlangen, daß das Streurechen nicht alljährlich, sondern in gewissen, nicht zu kurzen Zwischenräumen stattfindet, und daß von demselben die jüngern, sowie die zur natürlichen Verjüngung bestimmten älteren Bestände verschont bleiben.

Auch in der Art der Streugewinnung läßt sich Manches vorsehen, um

dessen Schädlichkeit zu mindern. Vor Allem ist es erforderlich, daß das Laub nicht bis zur nackten Erde hin entfernt wird, weil das neuabfallende Laub dann nicht mehr auf dem Boden haftet. Die Blätter enthalten nämlich stets Eiweiß, welches, wenn es feucht geworden ist, klebende Eigenschaften besitzt. Es verbindet sich daher das neu abgefallene Laub viel eher mit dem bereits von früheren Jahren her auf dem Boden liegenden, als mit der Erde selbst. Dazu kommt noch, daß diese wegen ihrer Rauhigkeit den Blättern nicht so viele Berührungspuncte bietet, weßhalb die Adhäsion geringer ist.

Die Anwendung von eisernen Rechen, statt hölzernen, hat den großen Nachtheil, daß jene tiefer eingreifen und auch die älteren Laubschichten leicht wegnehmen. Man sollte deßhalb überall da, wo es thunlich ist, nur den Gebrauch von hölzernen Rechen zur Streugewinnung zulassen.

Bei dem Rechen des Mooses dürfte es zweckmäßig sein, dasselbe streifenweise wegzunehmen, damit auf den entblösten Streifen das Moos von dem stehen gebliebenen aus sich regeneriren kann.

Ein eigentliches, unabweisbares Bedürfniß für die Landwirthschaft bildet die Waldstreu in solchen Gegenden, welche einen mineralisch unkräftigen Boden besitzen, und wo der Grundbesitz unter eine arme Bevölkerung so vertheilt ist, daß der Einzelne entweder nicht genug Stroh erzieht, oder doch genöthigt ist, dasselbe zu verkaufen. Thatsächlich finden wir das Streurechen in ausgedehntestem Maße eingeführt auf Sandboden, namentlich auf dem Gebiete des bunten Sandsteins und im Gebirge, wo das Bedürfniß nach Streu sich gewöhnlich noch dadurch steigert, daß das Regen- und Schneewasser die düngenden Bestandtheile der Aecker leicht abspühlt.

Unter den eben geschilderten Verhältnissen ist es meist unmöglich, das Streurechen ganz zu beseitigen, ohne die Landwirthschaft zu ruiniren. Soll hier der Wald erhalten werden, so kann dies nur durch eine gründliche Aenderung in den socialen Verhältnissen der Bewohner solcher Gegenden geschehen. Massenhafte Auswanderung, wenn es nöthig ist mit Unterstützung auf Staatskosten, möchte wohl das einzige Universalmittel sein, um den Wald zu retten.

Gewöhnlich wird da, wo man die Waldstreu in großen Quantitäten begehrt, kein ordentlicher Haushalt mit dem Dünger getrieben. Meist sind die Dungstätten sehr mangelhaft eingerichtet, nicht gepflastert und dem Auslaugen durch Regen-, oft selbst durch Quellwasser ausgesetzt. Es dürfte wohl nirgends als Härte erscheinen, wenn man die Erlaubniß zum Streubezug stets an die Errichtung einer zweckmäßigen Dungstätte knüpfte.

Die von andern Schriftstellern vorgeschlagenen Maßregeln zur Abschaffung oder Verminderung der Streunutzung — wie z. B. Vermehrung und Verbesserung der natürlichen Wiesen, die Zuhülfenahme von Streusurrogaten ꝛc. — sind meist von der Art, daß ihre Ausführung durch locale Schwierigkeiten gehemmt wird, oder von dem guten Willen der Streuconsumenten abhängt.

9. Herstellung eines geeigneten Maßes von Boden-Festigkeit oder Lockerheit.

a. Maßregeln zur Verminderung einer übermäßigen Bodenlockerheit.

Wie wir früher gesehen haben, ist die Lockerheit des Bodens eine Bedingung für die Erzielung der höchsten Massenerträge. Dies gilt aber nur für den Fall, wenn auch eine hinreichende Menge von Feuchtigkeit vorhanden ist. Mangelt diese, so hat eine allzugroße Lockerheit viele Nachtheile im Gefolge. Die Pflanzen leiden in der warmen Jahreszeit durch Trockniß, der Boden wird an Abhängen leicht von den Meteorwassern in die Tiefe geschwemmt, feiner, trockener Sand (Flugsand) läßt sich durch den Wind bewegen und ist dann nur mit Mühe zu cultiviren. Besitzt der Boden zu viel Feuchtigkeit, so sind die auf ihm befindlichen Pflanzen in der Jugend der Gefahr des Ausfrierens unterworfen.

Die Mittel zur Beseitigung einer übermäßigen Bodenlockerheit bestehen: in der Anzucht und sorgfältigen Erhaltung einer vegetabilischen Bodenbekleidung, dem Binden des Flugsandes mittelst Deckwerk und Coupirzäunen, (wozu die Waldbaulehre die nähere Anleitung gibt), dem Entfernen der Flechten und sonstigen Gewächse, aus welchen die sogenannte Stauberde sich bildet, in der Vermeidung des Stockrodens, des Schweineumbruchs und des Anbau's von landwirthschaftlichen Gewächsen, welche eine Bearbeitung des Bodens mit Werkzeugen erfordern. Das in der Agricultur gebräuchliche Festwalzen des Bodens wird sich in der Forstwirthschaft nicht anwenden lassen.

b. Maßregeln zur Verminderung einer allzugroßen Bodenfestigkeit.

α. Abschaffung der Waldwaide.

Die Behütung der Waldflächen mit Vieh (namentlich Rindvieh und Pferden) hat auf einem nicht bindigen Boden eine Vermehrung der Lockerheit zur Folge, indem die den Boden bedeckende Narbe von Vegetabilien durch den Tritt der Thiere zerstört wird. Ein an sich schon gebundener Boden erhält aber durch die Viehhute noch mehr Festigkeit und wird hierdurch weniger productiv für die Forstwirthschaft.

Der Verf. kennt in der Nähe seines Wohnorts einen sechszigjährigen Eichenbestand, welcher blos durch die Rindviehhute schon zopfdürr geworden ist.

Leider fehlt es über den schädlichen Einfluß, welchen die Waldwaide auf den Holzwuchs äußert, gänzlich an directen comparativen Untersuchungen. Wir sind daher nicht im Stande, etwas Genaueres über das Maß dieser Schädlichkeit anzugeben.

β. Kurzhacken.

Der oberflächliche Wundhacken des Bodens ist ein ganz vorzügliches Mittel, um diesem mehr Lockerheit zu verschaffen. Es leistet ausgezeichnete

Dienste bei strengem Erdreich an solchen Orten, auf welchen der Humus wegen längerer Lichtstellung des Bodens, oder aus andern Ursachen verschwunden ist.

Besonders günstig zeigt sich das Kurzhacken für die natürliche Verjüngung, namentlich der Buchen. In dem Dienstbezirk des Verf. befindet sich ein Buchenbestand, der stellenweise keinen Aufschlag liefern wollte, trotzdem, daß es an Mast nicht fehlte. Nachdem man diese Stellen oberflächlich wund gehackt hatte, besamten sich dieselben viel vollkommener, als in allen übrigen Theilen des Bestandes.

Das Einzige, was einer ausgedehnteren Anwendung des Kurzhackens entgegensteht, ist die Kostspieligkeit dieses Verfahrens. Man macht von ihm gewöhnlich nur dann Gebrauch, wenn man über eine hinreichende Zahl von Forststräflingen verfügen kann, deren Arbeitskräfte sich auf keine lucrativere Art verwerthen lassen.

γ. Umbruch mittelst zahmer Schweine.

Billiger, als durch das Kurzhacken, läßt sich die Bodenlockerung durch den Umbruch mittelst zahmer Schweine bewirken, ja man erhält sogar öfters noch ein Pachtgeld für die Gestattung der Schweinehute. Nur auf steinigem oder sehr verwurzeltem Boden können die Schweine nicht brechen.

δ. Hainen des Bodens.

Das Hainen besteht darin, daß man den Boden sammt seinem Ueberzug abplaggt und die Plaggen, wenn sie trocken geworden sind, brennt. Bei dem Ueberlandbrennen bleiben die Plaggen, untermischt mit Reisig, zerstreut auf der Fläche liegen, bei dem Schmoren werden sie auf Haufen gesetzt und der Windseite entgegen angezündet. Wollte man mit dem Wind brennen, so würde sich das Holz, welches man in die Haufen einschichtet, eher verzehren, als das Durchglühen der Plaggen stattgefunden hätte.

Eine ausgedehnte Anwendung wird von den Hainen bei dem Röderlandbetriebe und bei dem Hackwaldbetriebe gemacht; hier findet dasselbe aber hauptsächlich zu Gunsten der landwirthschaftlichen Zwischennutzungen statt, welche auf den Abtrieb des Holzes folgen. Wie man weiß, ist der Röderlandbetrieb auf Außenfelder beschränkt, deren Entfernung von dem Wohnort des Besitzers es schwierig macht, sie regelmäßig mit Dünger zu bestellen. Der Hackwaldbetrieb dagegen wird — abgesehen von andern Motiven, deren Erörterung nicht hierher gehört — durch einen Mangel an Dünger hervorgerufen. Bei diesen beiden Betriebsarten soll also das Hainen die Düngung ersetzen. Offenbar werden durch die Operation des Brennens dem Boden keine düngenden Bestandtheile zugeführt, welche er nicht schon gehabt hätte, es kann also das Brennen der Plaggen, des Reisig's 2c. zu keinem andern Zweck dienen, als um die nährenden Bestandtheile dieser Substanzen schnell in einen assimilirbaren Zustand zu versetzen. Wollte man z. B. warten, bis das dünne

Reisig, welches auf dem Schlage zurückbleibt, verwest ist, so würde der Boden mittler Weile unbenutzt daliegen; dazu kommt, daß man beim Hackwaldbetrieb mit der Fruchtbestellung eilen muß, weil sonst die Loden emporwachsen und die Agriculturgewächse verdämmen würden. Ist aber das Holz, der Unkräuterüberzug ꝛc. eingeäschert, so sind die Mineralsubstanzen frei geworden und können nun, in Wasser gelöst, von den Agriculturgewächsen aufgenommen werden.

Durch das Brennen wird aber auch der Boden selbst aufgeschlossen, wenn er, was fast immer der Fall ist, Thon und Kalk enthält. Wie die Erfahrung lehrt, ist aber auch das Brennen eines blos aus Sand, ohne jede Beimengung von Thon bestehenden Bodens ohne Nutzen.

Um uns die leichtere Verwitterungsfähigkeit zu erklären, welche der Thon erlangt, wenn er mit Kalk geglüht wird, müssen wir uns daran erinnern, daß die Thone nichts anders, als unvollständig zersetzte Feldspathe oder feldspathartige Mineralien sind, und daß die Silicate sich um so leichter durch Kohlensäure zerlegen lassen, je größer der Gehalt an Basis im Verhältniß zur Kieselsäure ist. Glüht man ein Thonerdesilicat mit Kalk, so bemächtigt sich dieser eines Theiles der Kieselsäure, und nun kann die Kohlensäure die Kieselsäure leicht austreiben. Bei dieser Gelegenheit werden aber auch die im Thon enthaltenen Alkalien, die Phosphorsäure, Schwefelsäure ꝛc. frei. Der nämliche Vorgang zeigt sich, nur in etwas geringerem Maßstabe, wenn der Thon mit angefeuchtetem Aetzkalk bei gewöhnlicher Temperatur längere Zeit in Berührung sich befindet. Ja selbst in einer Mengung von Thon mit kohlensaurem Kalk zersetzt sich der Thon leichter, als ohne die Gegenwart des Kalksalzes — und hierauf beruht höchst wahrscheinlich die günstige Wirkung des Mergels bei der Düngung der Felder.

In neuerer Zeit hat man das Hainen dazu angewandt, um sich ein culturfähiges Erdreich für die Forstgärten zu verschaffen. Biermans war der Erste, welcher von der durch Schmoren erhaltenen sogen. „Rasenasche“ einen ausgedehnten Gebrauch in dieser Beziehung machte.

Es kann gar keinem Zweifel unterliegen, daß die Biermans'sche Rasenasche in der Regel ganz vortreffliche Pflanzen produzirt. Da wo die Forstwirthe keine guten Resultate mit dieser Culturerde erzielt haben, liegt es, wovon sich der Verf. in solchen Fällen immer überzeugt hat, an einer nicht hinlänglich sorgfältigen Behandlung der Saatbeete. Die Erde wird zwar gewöhnlich nach Vorschrift gebrannt und die Saat richtig ausgestellt, dann aber bekümmern sich die Forstwirthe öfters nicht mehr genug um die Pflanzen; sie unterlassen die durchaus erforderliche Reinigung der Kämpen von Unkraut, und wenn nachher die Pflanzen in diesem ersticken und verderben, so wird die Schuld davon dem Verfahren des Herrn Biermans beigemessen, während sie in Wahrheit den Wirthschafter treffen sollte. Die Berichte in den Zeitschriften über schlechte Erfolge, die man durch Anwendung der Rasenasche er-

zielt haben will, sind mit großer Vorsicht aufzunehmen; der Verf. räth, sie nicht eher zu glauben, bis man sich durch eine Besichtigung an Ort und Stelle von dem wahren Sachverhalt überzeugt hat. So kennt der Verf. einen Forstbeamten, welcher sich mit großem Nachdruck gegen das Biermans'sche Verfahren öffentlich erklärte, weil es ihm nicht habe gelingen wollen, gute Pflanzen in der Rasenasche zu erziehen, während, wie der Verf. mit Bestimmtheit weiß, der Grund des Mißlingens blos darin lag, daß jener Beamte in die noch warme Asche säete.

Sehr oft ist man geneigt, schlechte Erfolge, welche man mit diesem Verfahren gehabt hat, auf Rechnung der Localität zu setzen, während sie nur der Unaufmerksamkeit Desjenigen beizumessen sind, welcher die Versuche anstellte.

Um das günstige Wachsthum der in Biermans'scher Rasenasche erzogenen Pflanzen zu erklären, sind verschiedene Theorieen zu Hülfe genommen worden. Diejenigen, welche die Fruchtbarkeit des Bodens nach seinem Gehalte an anorganischen löslichen Substanzen beurtheilt wissen wollen, haben leicht eine Erklärung zur Hand. Durch das Verbrennen des organischen Bodenüberzugs und des Reisigs wird — so sagen sie — eine große Menge von denjenigen Stoffen frei, welche die Holzgewächse zu ihrer Ernährung bedürfen; das nämliche geschieht durch das Brennen des Thons, wenn dieser, wie es fast immer der Fall ist, eine Beimengung von Kalk enthält. Diese Interpretation hat auf den ersten Anblick sehr Vieles für sich; allein man muß doch Zweifel in ihre Richtigkeit setzen, wenn man sieht, daß sehr oft auf den nämlichen Bodenarten eben so schöne Pflanzen erzogen werden, vorausgesetzt, daß man das Erdreich ebenso gründlich bearbeitet habe, als dies nach dem Verfahren von Biermans geschieht. Dann lehrt aber auch die Beobachtung, sowie die chemische Analyse, daß unsere Holzgewächse sehr geringe Ansprüche an die anorganischen Bestandtheile des Bodens machen. Die Fruchtbarkeit eines Bodens scheint viel mehr von dessen physikalischen Eigenschaften, namentlich seiner Tiefgründigkeit, Lockerheit und seinem Feuchtigkeitsgehalte, abzuhängen, als von seinem Reichthum an anorganischen Nährstoffen. Wenn auch jene Eigenschaften nur dazu dienen sollten, um die Aufsaugung der Mineralsubstanzen des Bodens zu ermöglichen, so ist damit die Wichtigkeit der physikalischen Eigenschaften nicht im Mindesten in den Hintergrund gestellt. Sind wir einmal zu dem Schlusse gelangt, daß der Boden genug anorganische Stoffe in assimilirbarer Form erhalte, um die Waldvegetation zu ernähren so können wir den Werth desselben doch offenbar nur danach beurtheilen, ob seine sonstige Beschaffenheit eine Aufsaugung dieser Stoffe in hinreichendem Maße gestatte. Wir werden also darauf hin geführt, die Güte des Bodens nach seinen physikalischen Eigenschaften zu bemessen.

Der Verf. glaubt, gestützt auf einige comparative Untersuchungen, nicht zu irren, wenn er die Productivität der Biermans'schen Rasenasche hauptsäch-

lich in der Verbesserung der physikalischen Beschaffenheit erblickt, welche der Boden durch das Brennen erleidet.

Bodenlockerheit ist eine der ersten Bedingungen für die Erziehung guter Pflänzlinge, ohne dieselbe bildet sich nie ein reiches System von Zaserwurzeln aus, wie es ein vollkommener Pflänzling besitzen muß. Das Biermans'sche Verfahren verschafft aber in hohem Grade Bodenlockerheit. Dies gilt namentlich für den Thon, und es möchte schwerlich ein anderes Verfahren geben, welches auf eine weniger kostspielige Weise eine so durchgreifende Zerkleinerung des Thons bewirken könnte, als es durch das Brennen geschieht. Diejenigen Bodenarten, welche schon an und für sich ein hinreichendes Maß von Lockerheit besitzen, wie z. B. der Sand, werden durch das Brennen nicht wesentlich verbessert.

Eine weitere nützliche Eigenschaft der Rasenasche besteht darin, daß sie die Feuchtigkeit leicht aufnimmt, und lange anhält. Sie ist ganz besonders geschickt, die in der Luft enthaltenen Wasserdämpfe zu condensiren. Dies beruht einestheils auf der feinen Zertheilung der Erde, zum andern auf dem Kohle-Gehalt der Rasenasche. Die organischen Substanzen, welche mit der Erde geglüht werden, verbrennen nie vollständig, es bleibt immer ein Theil des Kohlenstoffs zurück, und dieser behält die Zellenstructur bei. Nun weiß man aber, daß die Kohle in diesem Falle eine große Quantität Gas oder Dampf zu absorbiren vermag. Ein sehr lästiges Unkraut auf den Biermans'schen Beeten ist Funaria hygrometrica, ein Moos, welches sich nur da zeigt, wo es nie an Feuchtigkeit mangelt.

Die Biermans'sche Rasenasche kann, auch wenn sie vollständig erkaltet ist, nicht sogleich verwandt werden; sie muß erst einige Zeit an der Luft liegen, damit der Aetzkalk, welcher sich beim Brennen gebildet hat, Kohlensäure anziehe und seine ätzenden Eigenschaften verliere. Der Kalk muß feucht sein, wenn er sich mit der Kohlensäure verbinden soll; aus diesem Grunde sieht man es gerne, wenn die Asche leicht beregnet wird. Man darf dieselbe nicht sogleich nach dem Brennen dicht zusammenschlagen, weil sonst die Kohlensäure nicht zudringen kann. Am besten setzt man die Asche auf Haufen und bedeckt diese mit umgekehrten Rasenplatten; sie ist dann gegen Abschwemmen durch stärkere Regengüsse geschützt und kann doch Feuchtigkeit und Kohlensäure aufnehmen.

ε. Bodenbearbeitung bei der Anzucht von Agriculturgewächsen auf Waldgrund.

Im Vorhergehenden haben wir bereits zwei forstliche Betriebsarten kennen gelernt, welche mit dem Anbau des Holzes die Cultur von landwirthschaftlichen Pflanzen verbinden; wir meinen den Hackwald- und Röderlandbetrieb. Diese beiden Betriebsarten haben das Characteristische, daß die Bodenbearbeitung am Ende der Umtriebszeit durch Hainen bewirkt wird. An

manchen Orten, so u. A. bei Lorsch und Viernheim in der Ebene zwischen dem Odenwald und Rhein, bei Esslingen im Königreich Würtemberg, finden landwirthschaftliche Zwischennutzungen auf Waldboden statt, ohne daß man von dem Hainen Anwendung macht. Nach dem Abtriebe eines Hochwaldes reinigt man den Boden sorgfältig von allen Wurzeln, welche in demselben zurückgeblieben sind, und bearbeitet jetzt das Erdreich mit den in der Landwirthschaft gebräuchlichen Instrumenten, insbesondere mit dem Pfluge. Nachdem einige Jahre lang Getraide und Hackfrüchte (Kartoffeln, zuweilen auch Tabak) gezogen worden sind, tritt wieder die Holzcultur ein. Diese findet auch wohl 1—2 Jahre gleichzeitig mit dem Feldbau statt.

Man hat gegen die oben geschilderte Verbindung der Landwirthschaft mit der Forstwirthschaft einige staatswirthschaftliche Bedenken geäußert, deren Würdigung übrigens nicht hierher gehört. Vom Standpunkte der Bodenkunde aus betrachtet, kann man diesen combinirten Betrieb nur als vortheilhaft für die Forstwirthschaft erklären. Es ist Thatsache, daß auf dem durch den Ackerbau gelockerten Boden ganz vortreffliche Holzpflanzen erzogen werden, wovon sich Jeder überzeugt haben muß, der die Culturen bei Viernheim, Lorsch, oder Engelberg (im Königreich Würtemberg) gesehen hat. Der kräftige Wuchs der Holzpflanzen in solchem Boden läßt sich nur durch die Lockerung, welche derselbe, namentlich durch den Anbau der Hackfrüchte erfährt, erklären. Wenn man gefunden hat, daß die Kiefer in Untermischung mit Getraide öfters nicht gedeiht, so rührt dies nicht etwa von der Bodenlockerung, sondern davon her, daß die Kiefer keinen Schatten ertragen kann. Im Freien angezogen, kommt die Kiefer auf gebautem Lande eben so gut, wie jede andere Holzart fort.

Die Vortheile der Bodenlockerung verschwinden aber in dem Falle wieder, wenn man die landwirthschaftlichen Zwischennutzungen zu lange fortsetzt. Dies kann nicht befremden. Wie wir wissen, entziehen die Agriculturgewächse dem Boden weit mehr anorganische Substanzen, als die Holzgewächse; so kann es denn kommen, daß der Boden durch den fortwährenden Anbau von landwirthschaftlichen Pflanzen seinen ganzen Vorrath an löslichen anorganischen Bestandtheilen verliert und nun selbst kein Holz mehr zu produziren vermag. Am meisten saugen Tabak und Getraide den Boden aus, Kartoffeln schaden in dieser Hinsicht weit weniger.

Von Heinrich Cotta ging die Idee aus, auf geeigneten Standorten den Waldbau ständig mit der Agricultur zu verbinden. Man soll den Boden erst einige Zeit blos zum Anbau von Agriculturgewächsen benutzen, dann zwischen diesen auch Holzpflanzen cultiviren und zuletzt die Fläche zwischen den Bäumen zu Waide verwenden. Wie sich aus dem Vorhergehenden ergibt, würde sich dieser Vorschlag nicht ausführen lassen, ohne daß man zu künstlicher Düngung seine Zuflucht nähme, um den durch die Agriculturgewächse bald erschöpften Boden zur Hervorbringung von neuen Erndten zu

befähigen. Der Anwendung von thierischem Dünger im Walde stehen aber so viele Schwierigkeiten im Wege, und der Anbau von Agriculturgewächsen zwischen dem Holze ist wegen der mühsamen Bodenbearbeitung und noch aus vielen andern Gründen, deren Erörterung nicht hierher gehört, so wenig lucrativ, daß die Cotta'sche Idee bis jetzt noch nicht zur Ausführung gekommen ist. Im Interesse des Waldbau's hat man dies auch nicht zu wünschen, denn es ist vorauszusehen, daß der durch die Agricultur erschöpfte Boden gänzlich untauglich zur Holzproduction werden würde.

10. Herstellung des nöthigen Maßes von Bodenfeuchtigkeit.

a. Beseitigung einer schädlichen Bodennässe.

In Deutschland besitzen wir nur eine Holzart, welche stagnirende Feuchtigkeit erträgt. Dies ist die Schwarzerle. Den Pappeln und Weiden sagt nur fließendes Wasser zu; sie gedeihen an diesem immer besser, als in Sümpfen. Das nämliche gilt von der Esche. Alle übrigen Holzarten liefern den größten Massezuwachs auf einem nur frischen Boden. Die Kiefer und die Birke ertragen noch am ersten trockne Standorte.

In nassen Lagen wird das Holz, namentlich von den Nadelbäumen, gewöhnlich rothfaul. Die natürliche Verjüngung, sowie die Erndte des Holzes ist an solchen Localitäten vielen Schwierigkeiten unterworfen. Außerdem erzeugt sich daselbst Humussäure, welche keiner Holzart zuträglich ist. Die schädlichen Früh- und Spätfröste, das Ausfrieren der Pflanzen kommt vorzugsweise auf nassem Boden vor.

α. Ursachen der Bodennässe.

Nasse Lagen werden dadurch gebildet, daß das Wasser nicht hinreichenden Abfluß hat. Ist gar kein Abfluß vorhanden, so erzeugen sich Behälter von stagnirendem Wasser. Der Abfluß ist entweder in horizontaler, oder in verticaler Richtung gehindert. Das erstere findet statt, wenn die Oberfläche des Bodens kein Gefäll besitzt, das zweite, wenn der Untergrund undurchlassend ist. Oft sind diese beiden Hindernisse vereint.

Die Nässe kann herrühren

1. von niedergefallenem Meteor- (Regen-, Schnee- ꝛc.) Wasser.

2. Von Quellwasser. Die Quellen entstehen aus dem niedergefallenem Wasser; dies gilt selbst, wenn auch nur mittelbar, für den selten vorkommenden Fall, daß dieselben aus versinkenden Flüssen ihren Ursprung nehmen.

Von dem Regen-, Schnee- ꝛc. Wasser, welches auf den Boden gelangt, verdunstet nur ein Theil; das übrige fließt entweder von der Oberfläche des

Erdreichs sogleich ab und nach den tiefer gelegenen Stellen, also in die Bäche, Flüsse, Seen und Meere, oder es dringt in den Boden a (Fig. 174) ein, wenn dieser locker genug ist, um das Wasser aufzunehmen. Nach dem Gesetz der Schwere bewegt sich dieses Wasser senkrecht, d. h. in der Richtung des Erdhalbmessers, abwärts undzwar so lange, bis es auf eine undurchlassende Schichte b (z. B. unzerklüftete Felsen, Thon ꝛc.) stoßt. Hat diese eine geneigte Lage, so fließt das Wasser auf derselben ab und kommt bei c, wo die undurchlassende und die durchlassende Schichte einander schneiden, zum Vorschein, und zwar in letzterem Falle nach dem gleichfalls auf der allgemeinen Gravitation beruhenden Gesetz der kommunicirenden Röhren. Ist nun die Quelle da, wo sie zu Tage tritt, nicht gefaßt, hat sie keinen regelmäßigen Abzugskanal, so ergießt sie sich über den Boden nach allen Richtungen hin, und erzeugt Versumpfungen. Letztere werden auch dann gebildet, wenn die undurchlassende Schichte aus der geneigten Lage in die horizontale übergeht (Fig. 175), ohne die durchlassende Schichte zu schneiden; das Wasser hat dann keinen Fall mehr, es steigt aufwärts und durchnäßt das an der Oberfläche liegende Erdreich. Noch schlimmer ist es, wenn die durchlassende Schichte von Neuem ansteigt (Fig. 176.), weil jetzt das Wasser sich nicht über eine größere Fläche verbreiten kann, sondern innerhalb der Vertiefung bleiben muß.

Fig. 174.

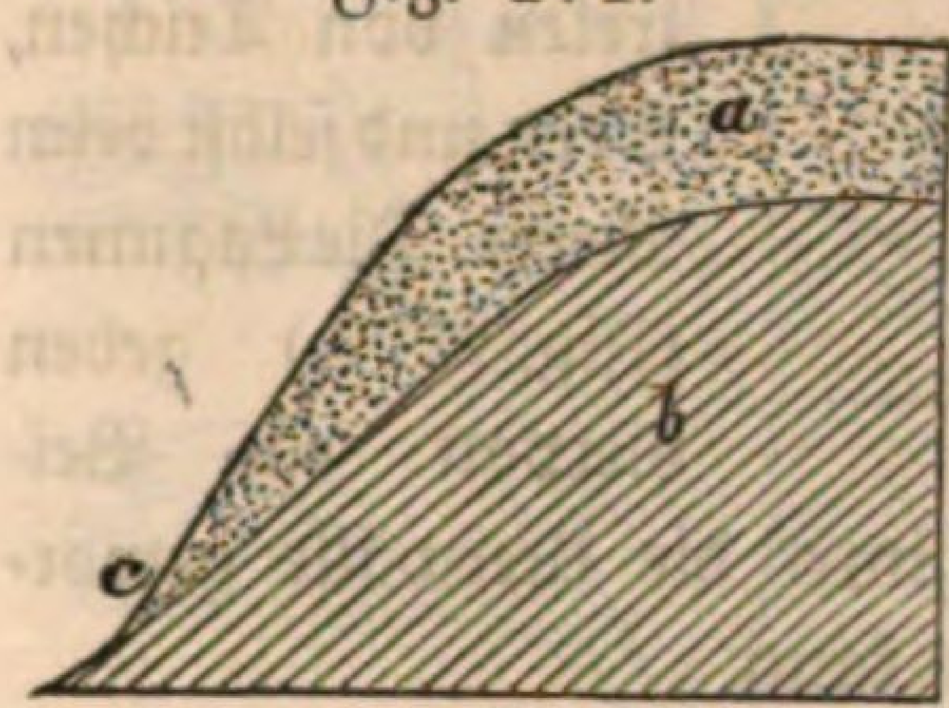


Fig. 175.

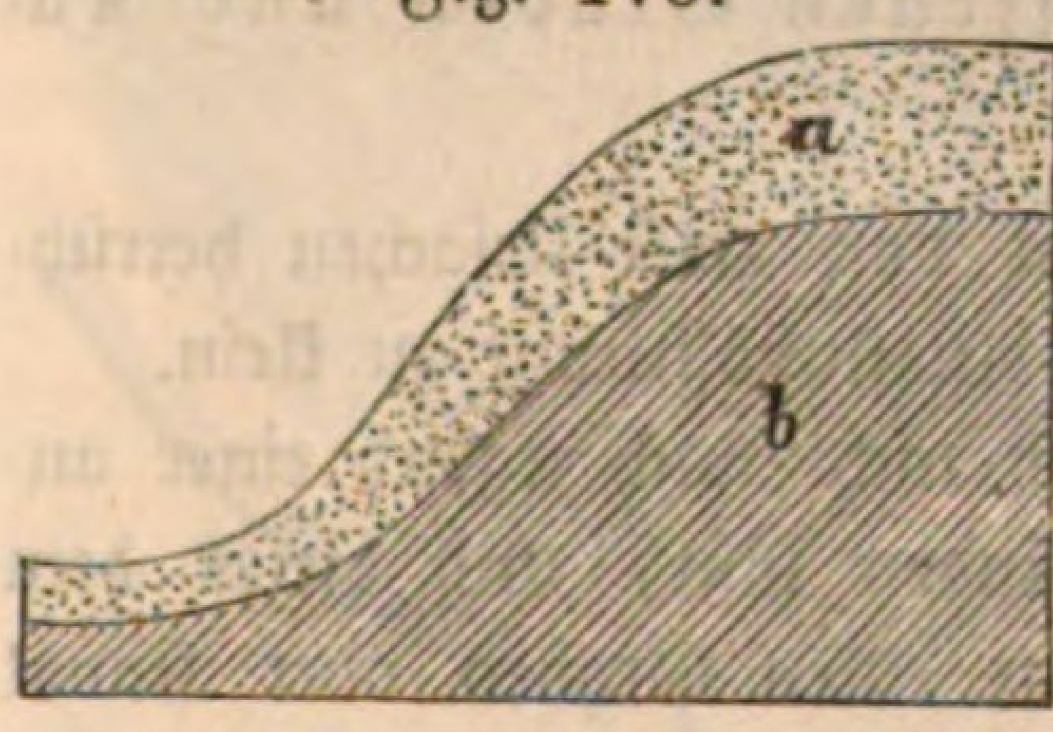
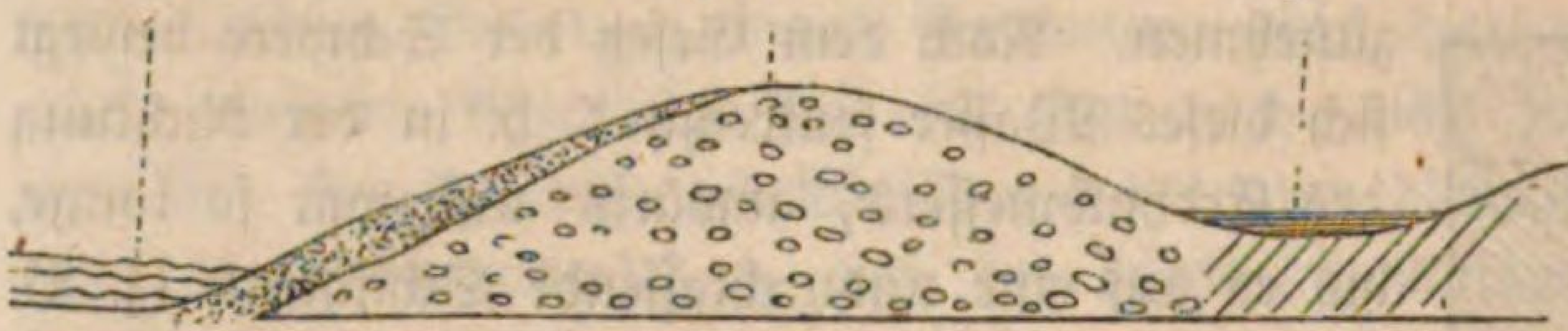


Fig. 176.



3. Von Fluß-, Teich- und Meerwasser. Das Flußwasser erhält nur dadurch Bewegung, daß es auf einer schiefen Ebene sich befindet. Je stärker die letztere geneigt ist, um so größer wird die Geschwindigkeit des Wassers ausfallen, weil das relative Gewicht eines auf einer schiefen Ebene befindlichen Körpers mit dem Sinus des Neigungswinkels wächst. Die Geschwindigkeit erreicht dann ihren höchsten Werth, wenn das Wasser der Linie des stärksten Falles folgt, verläßt es diese Linie, so wird die Bewegung verlangsamt, und es häuft sich eine größere Wassermenge im Flußbette an. Findet jetzt plötzlich eine stärkere Anschwellung des Wassers, z. B. durch anhaltende Regengüsse, Schmelzen des Schnee's ꝛc. statt, so tritt der Fluß über seine Ufer, weil das Wasser nicht schnell genug abfließen kann, und es bleibt in den Vertiefungen des Bodens auf dem Lande Wasser stehen, welches die Grundlage zu Versum-

Fig. 177.



pfungen bildet. Letztere erzeugen sich auch bei dem Uebertreten von Teichen, Seen und selbst beim Meere. Die Lagunen (Fig. 177.) geben hiervon ein Beispiel; sie entstehen, wenn das Wasser des Meeres hinter die Uferwälle geworfen wird, und nicht wieder zum Meere zurückfließen kann.

Liegen die Ufer eines Flusses, See's 2c. höher, als das angrenzende Land, so dringt das Wasser bei hohem Stande von unten auf an die Oberfläche des Bodens und bleibt so lange stehen, bis der Wasserstand wieder abnimmt. Je stärker der Abfluß des See's, das Gefäll des Flusses 2c. ist, um so schneller wird sich solches Seihwasser, wie man es nennt, verlieren.

β. Ableitung des Wassers in offenen Gräben und Kanälen.

Ein mangelhafter Abfluß des Wassers kann von zwei Ursachen herrühren: entweder ist das Gefäll zu gering, oder die Ausflußöffnung zu klein.

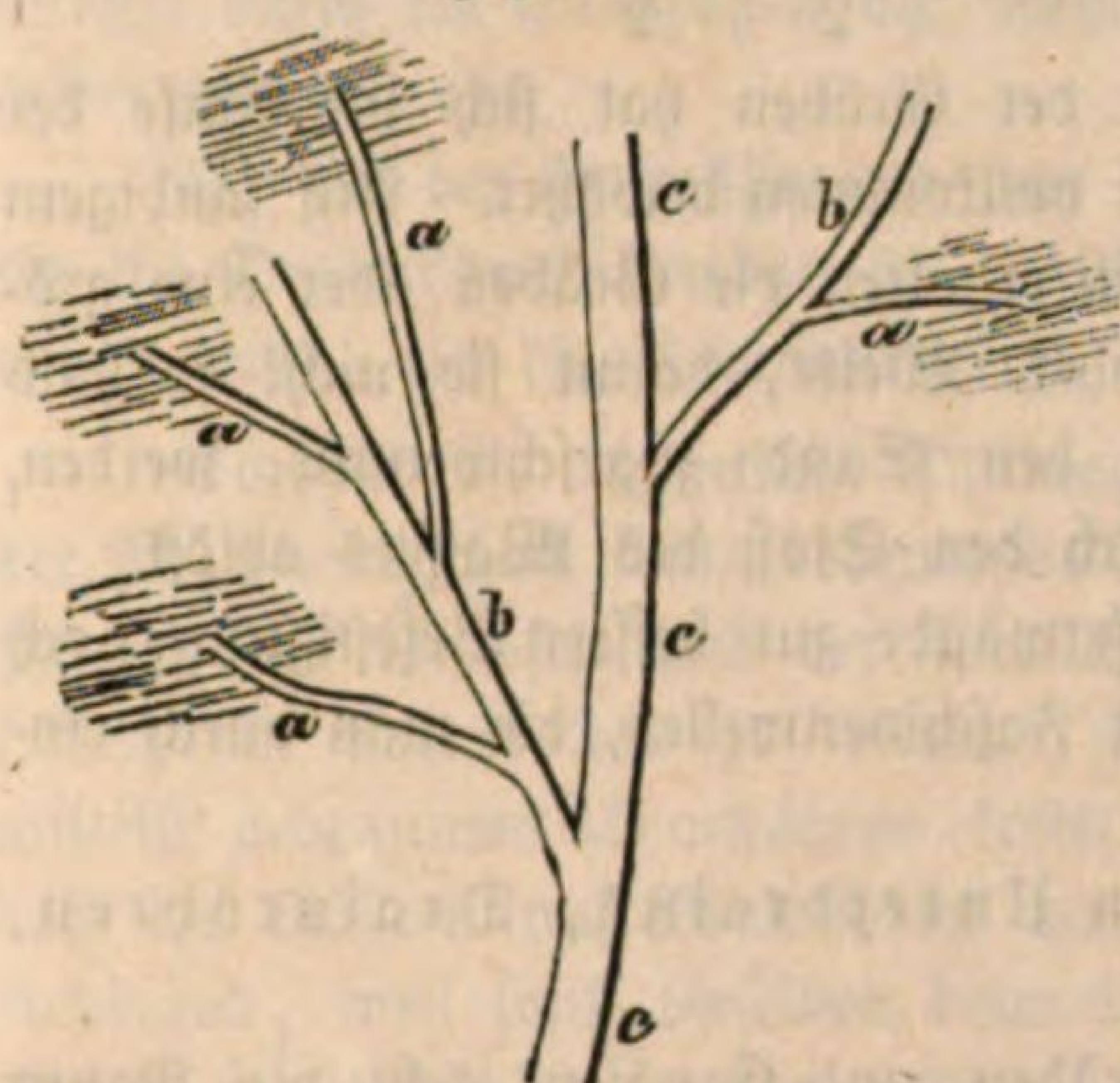
Im ersteren Falle hat man nachzusehen, ob nicht nach irgend einer andern Richtung hin ein besseres Gefäll sich auffinden läßt, und dieses dem Wasser dadurch zugänglich zu machen, daß man einen Graben oder Kanal zieht und den Damm durchsticht, welcher dieses Gefäll bisher dem Wasser verschloß. Häufig folgt auf ein schwaches Gefäll später ein stärkeres; hier genügt es, wenn man ersteres gehörig vertieft.

Flüssen verschafft man ein größeres Gefäll, wenn man die Krümmen durchsticht; man eröffnet dadurch dem Wasser eine Bahn, welche einen größeren Neigungswinkel besitzt, oder kürzt den Weg ab, den dasselbe zu durchlaufen hat. Lagunen kann man entweder nach dem Lande oder nach dem Meer hin ableiten. In letzterem Falle muß der Uferwall durchstochen werden.

Ist die Ausflußöffnung des Wassers zu klein, so hat man diese zu erweitern.

Bei der Anlage von Entwässerungen reicht man gewöhnlich mit einem einzigen Graben oder Kanal, welcher zur Ableitung des Wassers dienen soll, nicht aus. Um zu diesem Graben 2c. zu gelangen, muß das Wasser aus nassen Stellen die Erde, welche zwischen ihm und dem Graben liegt, durchdringen, hierbei wird die Bewegung desselben wegen der Reibung mit den Erdtheilchen aufgehalten und verlangsamt. Um den Weg abzukürzen, welchen das Wasser bis zu dem Hauptableitungsgraben zu durchwandern hat, legt man von den nassesten Stellen (Tümpeln, Wassergallen) aus kleinere Sammel-

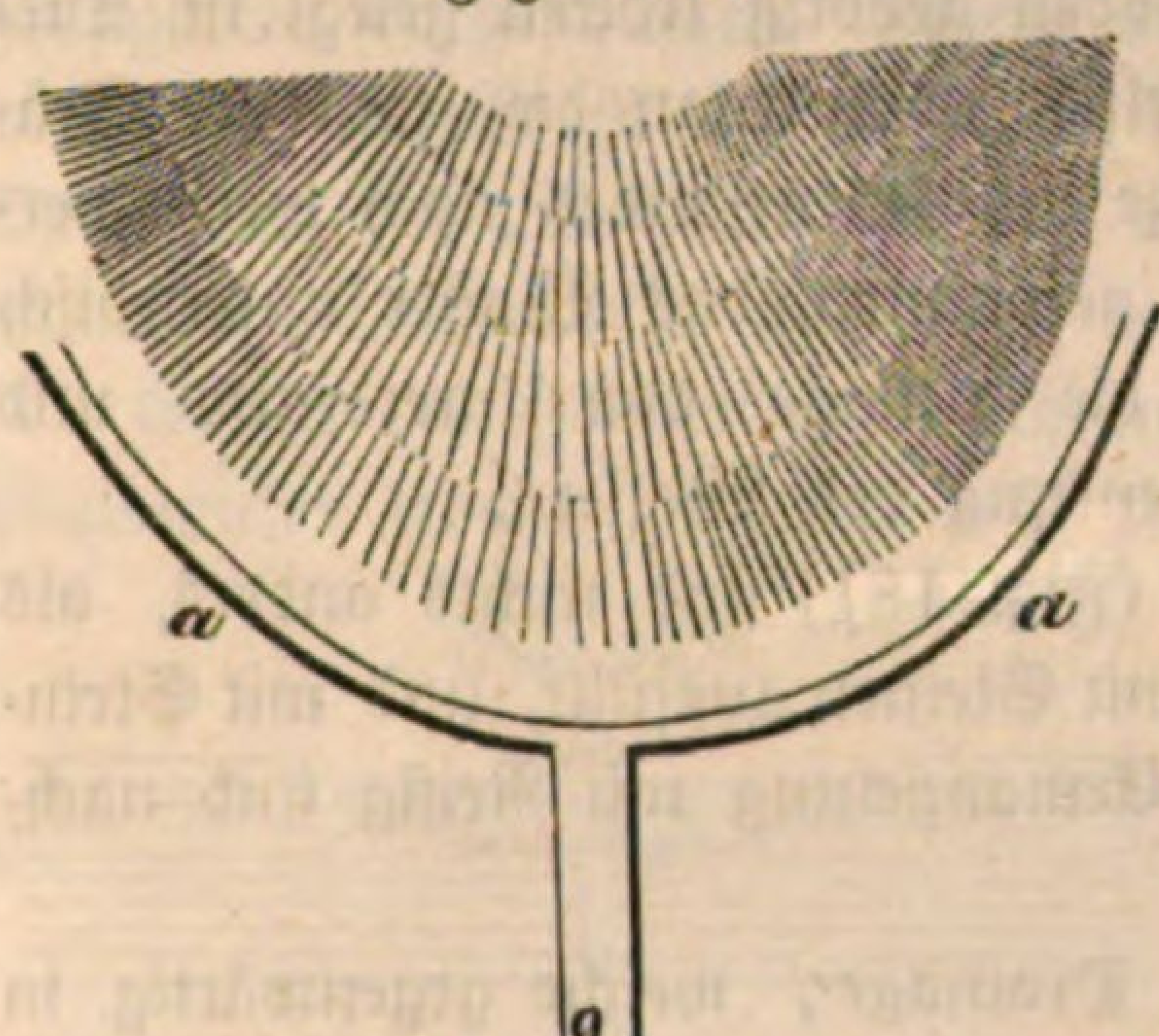
Fig. 178.



Gräbchen a (Fig. 178) an und vereinigt das Wasser, welches dieselben aufgenommen haben, in einem etwas größeren Zuleitungsgraben b, der dasselbe endlich dem Hauptableitungsgraben c zuführt.

Wenn am Fuße einer Anhöhe eine Versumpfung durch Quellen entstanden ist, so kann man dieselbe ganz einfach in der Weise beseitigen, daß man statt mehrerer Sammelgräbchen blos einen a (Fig. 179) rund um die Anhöhe anlegt und aus diesem das Wasser unmittelbar in den Hauptableitungsgraben b einführt. Es sammelt sich dann das Wasser, wenn es von der Anhöhe herabkommt, in a und verbreitet sich nicht weiter von derselben.

Fig. 179.

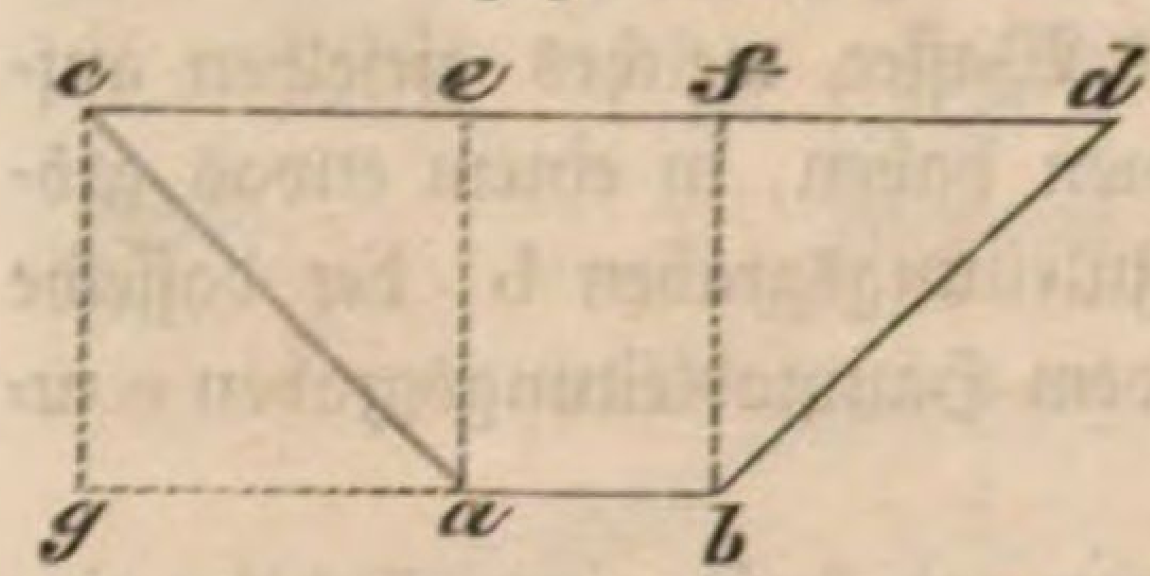


Die Richtung der Graben und Kanäle ergibt sich schon aus der Linie, welche das bei hohem Stande abfließende Wasser einschlägt; um ganz sicher zu gehen, bestimmt man aber bei größeren Entwässerungsarbeiten das Gefäll noch mittelst der Wasserwage.

Das Gefäll für die Abzugsgräben bestimmt sich nach der Menge des abzuleitenden Wassers und nach der Beschaffenheit des Bodens. Ein zu starkes Gefäll hat bei lockerem Erdreich und bedeutender Wassermasse zur Folge, daß die Wände sowohl, als die Sohle der Gräben zerrissen werden. Bei zu schwachem Gefälle fließt das Wasser nicht rasch genug ab, weil es durch die Reibung oder Adhäsion am Boden festgehalten wird.

Die Böschung der Gräben hängt von den nämlichen Umständen ab, welche das Gefäll bestimmen. Ist die zu bewegende Wassermasse groß und der Boden locker, so hat man den Gräben eine stärkere Ausladung zu geben, als unter umgekehrten Verhältnissen. Auf bindendem Boden reicht man mit einer einfüßigen Böschung aus; so geben wir z. B. in der Oberförsterei Gießen den gewöhnlichen Entwässerungsgräben, von denen wir jährlich viele tausend Meter anlegen, eine obere Weite von 4 Fußen, eine Sohlenbreite von 1 Fuß und eine senkrechte Höhe von $1^1/_2$ Fußen (Fig. 180). Hier ist also $ce = ag = \frac{cd - ab}{2} = \frac{4 - 1}{2} = \frac{3}{2}$, ferner $ae = 1^1/_2 = \frac{3}{2}$, also

Fig. 180.



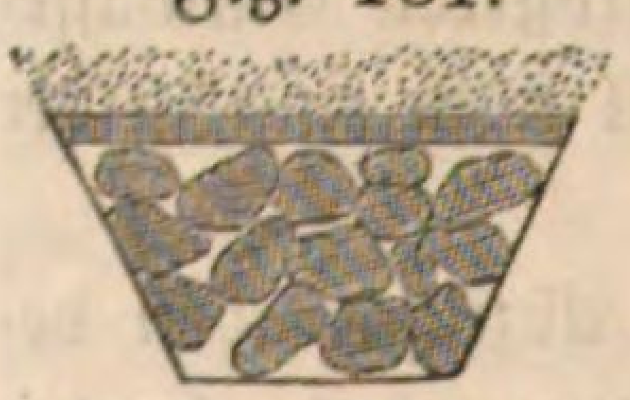
$cg : ag = \frac{3}{2} : \frac{3}{2} = 1 : 1.$ Diese Form der Gräben hat sich im Laufe der Jahre vollkommen bewährt. Auf sandigem Terrain erhalten die Gräben aber eine größere obere Weite, damit sie nicht so bald durch den Sand zugeschwemmt werden, welcher sich von den Grabenwänden durch den Stoß des Wassers ablöst.

Bei Kanälen bepflanzt man die Uferwände zur bessern Befestigung noch mit Weidenstecklingen oder belegt sie mit Faschinenwellen, die man durch eingesenkte Haken an dem Boden festhält.

γ, Ableitung des Wassers in Unterdrains, Drainröhren, oder mittelst Versenkung.

Durch die Anlage von offenen Gräben und Canälen geht viel Raum für die Cultur verloren; auch dauert es nach heftigen Regengüssen, Ueberschwemmungen ꝛc. oft zu lange, bis der Boden gehörig trocken gelegt ist. Diesem Mißstande läßt sich zwar dadurch abhelfen, daß man die Zahl der Gräben vermehrt, allein dann würde die Fläche des Culturlandes noch weiter vermindert werden. Man ist deßhalb darauf gekommen, das Wasser unterirdisch abzuleiten. Diesen Zweck erfüllt sowohl die Anlage von Unterdrains und die eigentliche Drainage, als auch die Versenkung des Wassers.

Fig. 181.



Die Unterdrains (Fig. 181) sind nichts anders, als Gräben, welche man mit Steinen ausfüllt, und mit Steinplatten oder in deren Ermangelung mit Reisig und nachher mit Erde bedeckt.

Zur eigentlichen Drainage, welche gegenwärtig in ausnehmend großem Maßstabe in Gebrauch ist, verwendet man gebrannte Thonröhren (Fig. 182), gewöhnlich von kreisförmigem Querschnitt, mit einem Durchmesser von 2—18 Centimetern und einer Länge von 30 bis 45 Centimetern. Diese Röhren werden einfach an einander gestoßen und an der Verbindungsstelle durch eine kleinere, aber weitere Röhre b von gleichem Material (Muff) zusammengehalten.

Fig. 182.



Man unterscheidet Nebendrains und Haupt- oder Sammeldrains; erstere sind zum Aufsaugen des Wassers bestimmt und münden in die letzteren, welche das Wasser fortleiten sollen, ein. Zu den Hauptdrains braucht man Röhren von größerem Durchmesser, als zu den Nebendrains. Die Weite der Röhren, die Anzahl und das Gefälle der Röhrenleitungen richtet sich nach der Menge des Wassers, welche abgeleitet werden soll.

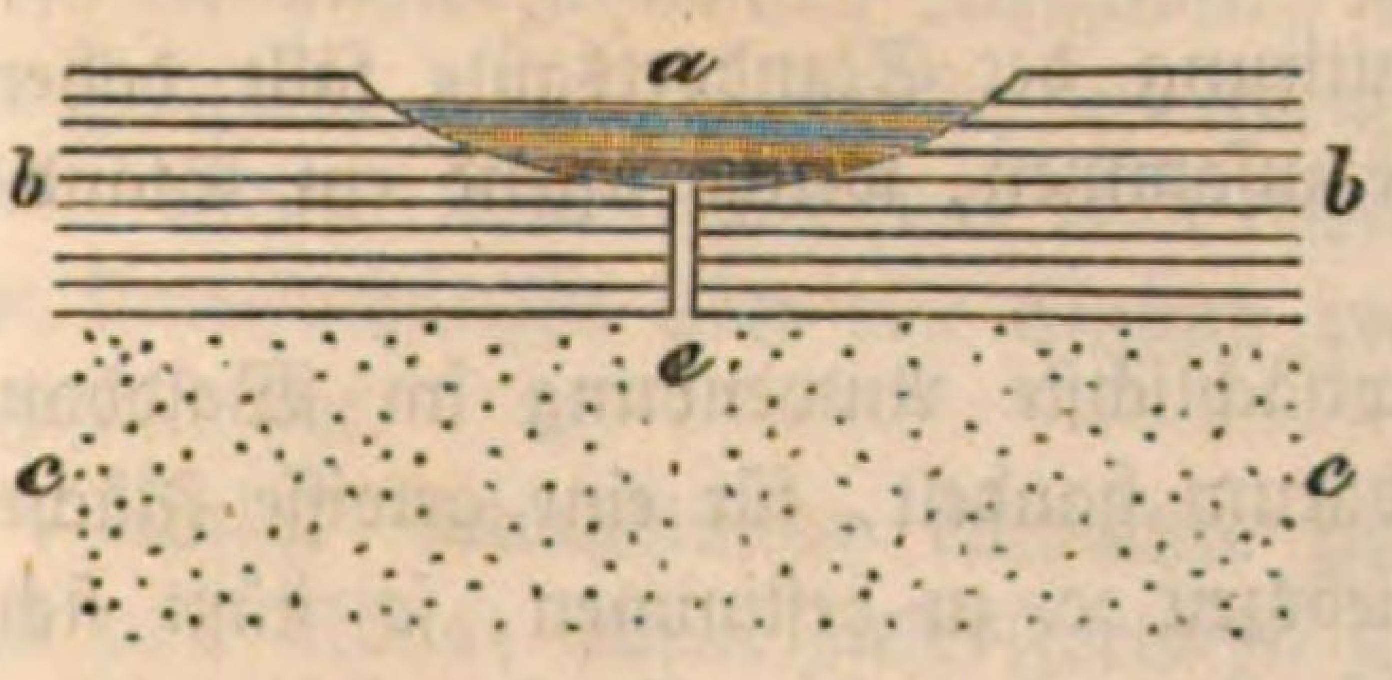
Nur leicht gepreßte und nicht stark gebrannte Röhren nehmen eine merk-

liche Quantität Wasser durch ihre Poren auf; hauptsächlich dringt aber das Wasser durch die Stoßfugen der Röhren, da wo diese unter dem Muff aneinander grenzen, ein.

Die bei der Entwässerung von Feldern und Wiesen gebräuchliche Tiefe für die Drainröhren beträgt 60—120 Centimeter; die Hauptdrains kommen etwas tiefer, als die Nebendrains zu liegen.

Sowohl die eigentliche Drainage, als auch die Unterdrains können in der Waldwirthschaft keine bedeutende Anwendung finden, weil die Anlagekosten sich zu hoch belaufen und der forstliche Rohertrag zu gering ist, um für dieselben ein Aequivalent zu bieten. Die Entwässerung eines Hectare Landes mittelst gebrannter Thonröhren kostet 90—150 Franken. Dazu kommt noch, daß die Röhren auf Waldboden viel tiefer gelegt werden müßten, als auf Ackerland, weil sonst dieselben beim Umgraben der Bäume, beim Roden der Stöcke ꝛc. beschädigt werden würden. Nur da, wo die Holzpreise sehr hoch stehen, könnte sich die Drainage vielleicht empfehlen. — Man hat dieselbe für Forstgärten vorgeschlagen. Allein auch hier ist sie entbehrlich, weil der Forstwirth bei der Wahl der Localität für solche Gärten fast immer einen großen Spielraum hat und leicht Flächen auffinden wird, welche keiner Entwässerung bedürfen. Der einzige Fall, auf welchen sich die Anwendung der Drainage von Seiten des Forstwirths beschränken möchte, dürfte dann eintreten, wenn Waldwiesen trocken zu legen sind, welche unter forstlicher Administration stehen.

Fig. 183.



Es kommt zuweilen vor, daß bei nassen Stellen a (Fig. 183) unter der undurchlassenden Schichte b, welche die Versumpfung bewirkt, eine durchlassende c sich befindet. Hier kann man die Nässe unterirdisch ableiten, wenn man die undurchlassende Schichte bei e durchbohrt. Dieses Verfahren ist neuerdings in Frankreich öfters mit Erfolg in Anwendung gebracht worden.

δ. Sonstige Maßregeln zur Verminderung einer allzugroßen Bodenfeuchtigkeit.

Die offenen Gräben werden bei der Waldwirthschaft immer das Haupt-Mittel zur Ableitung der Bodennässe bleiben, außerdem läßt sich aber auf die Verminderung der letzteren noch durch die Art der Waldbehandlung einwirken, z. B. dadurch, daß man an nassen Stellen das Holz nicht so dicht erzieht, daß man stark durchforstet, die Bäume gehörig ausästet, die Bodensträucher entfernt, keine Waldmäntel anlegt, oder, wenn solche bereits vorhanden sind, sie durch Fällen von Stämmen und Ausästung der stehenbleibenden öffnet. Alle diese Maßnahmen haben zum Zwecke, den Luftzug herzustellen.

b. **Beseitigung einer schädlichen Bodentrockenheit.**

Die in der Landwirthschaft, namentlich bei der Wiesencultur gebräuchliche künstliche Bewässerung läßt sich im Walde nur selten anwenden, weil es hier zu schwierig ist, das Wasser gleichförmig über die Fläche zu vertheilen. Dazu kommt noch, daß der Boden im Walde weniger Zusammenhang besitzt, als die mit einer Grasnarbe bedeckten Wiesen, und daher dem Abschwemmen unterworfen ist.

Die Maßregeln, welche der Forstmann zu ergreifen hat, um eine größere Bodenfeuchtigkeit im Walde herzustellen, bestehen hauptsächlich in dem Entgegengesetzten von demjenigen, was unter *δ.* über die Beseitigung der Nässe angegeben worden ist. Durch eine sachgemäße Auswahl der Holzart, Betriebsart, Umtriebszeit, durch eine sorgfältige Waldbehandlung läßt sich recht gut auf die Erhaltung der Bodenfeuchtigkeit einwirken.

Dritter Abschnitt.

Untersuchung der forstlichen Standortsgüte.

(Bonitirung).

1. Begriff und Zweck der Bonitirung.

Die Güte des Waldbodens richtet sich in der Mehrzahl der Fälle nach der Quantität und Qualität der Haupt- und Nebennutzungen, welche auf ihm erzogen werden können; die Bonitirung der Standortsgüte fällt daher mit der Vorausbestimmung der Erträge zusammen, welche irgend ein Standort wahrscheinlicher Weise liefern wird.

Die Bonitirung findet ihre hauptsächlichste Anwendung im Waldbau und in der Taxation. Wenn es sich darum handelt, für eine gewisse Fläche die richtige Holzart, Betriebsart, Umtriebszeit 2c. zu bestimmen, so stützt sich die Lösung dieser Aufgabe immer auf die Frage, welche Erträge sich bei der Wahl dieser oder jener Holzart, Betriebsart, Umtriebszeit 2c. ergeben werden.

In der Taxation ist die Bonitirung ganz unerläßlich, um die Haubarkeits- und Zwischennutzungserträge derjenigen Bestände, welche noch nicht in das Abtriebsalter getreten sind, so wie von Blößen, welche angebaut werden sollen oder können, zu ermitteln.

2. Verfahren zur Bonitirung.

a. **Directe Untersuchung der Factoren der Standortsgüte.**

α. Untersuchung sämmtlicher Factoren der Standortsgüte.

Für eine bestimmte Holzart, Betriebsart, Umtriebszeit 2c. sind Boden, Lage und Klima die constanten Bedingungen des Holzwachsthums, also auch der Erndteerträge; zu jenen ständigen Factoren kommen noch einige andere,

welche nicht so regelmäßig auftreten, wie z. B. Insectenschaden, Feuer rc. Die Untersuchung dieser Factoren gehört nicht hierher; der Einfluß, welchen sie auf die Erträge des Waldbodens äußern, kann nur unter Zuhülfenahme der Wahrscheinlichkeitsrechnung in Anschlag gebracht werden. Es mangeln aber bis jetzt alle statischen Notizen, um diesen Einfluß numerisch zu bemessen.

Was die Factoren von Boden, Lage und Klima anlangt, so kennen wir von diesen wenigstens diejenigen, welche für das Holzwachsthum entscheidend sind, wenn wir auch öfters nicht wissen, auf welchen Ursachen ihr Einfluß beruht.

Es fragt sich nun, ob man durch directe Untersuchung jener Factoren den Ertrag irgend eines Standorts ermitteln könne.

Die Lösung dieser Aufgabe liegt nicht außerhalb der Grenzen der Möglichkeit, denn wenn man sieht, daß ein Standort von gewissen physikalischen Eigenschaften einen Holzertrag = a hervorbringt, welcher nur das Product jener Eigenschaften ist, so muß man durch Untersuchung der Factoren der Standortsgüte auch auf den Ertrag schließen können.

Allein hierzu müßte die Wirkungsweise jener Factoren bekannt sein. Man hätte vorerst nöthig, zu wissen, wie jeder einzelne Factor auf den Ertrag influirt.

Wenn man eine noch so genaue Beschreibung von Boden, Lage und Klima irgend einer Localität angefertigt hat, so ist doch kein Forstmann in der Welt im Stande, hiernach anzugeben, wie viel Kubikfuße Holzmasse irgend eine Holzart, z. B. die Fichte, in einem bestimmten Alter auf dieser Fläche liefern werde. Dies rührt aber blos daher, weil bis jetzt noch Niemand wirkliche Untersuchungen über den Einfluß der Standortsgüte auf den Holzertrag angestellt hat.

Einige Ertragstafeln enthalten zwar eine Beschreibung von Boden, Lage und Klima; allein diese Factoren sind in so unbestimmten Ausdrücken geschildert, daß man gar nicht sieht, wie sie an der Erzeugung der in der Ertragstafel angegebenen Holzmassen betheiligt sind.

Wenn z. B. der Kopf einer Paulsen'schen Ertragstafel für Buchen, erste Bonität, lautet:

„Ein aus Dammerde bestehender milder Boden mit einer Unterlage von Kalksteinen oder Mergel in einer kühlen und frischen Lage,"

so ist nicht abzusehen, inwieweit die 77 Kubikfuße Durchschnittszuwachs welche diese Bonität im 120ten Jahre liefert, durch die Dammerdeschicht, oder durch die Kalksteine und den Mergel, oder durch die frische kühle Lage bedingt werden (ganz abgesehen davon, daß in der Paulsen'schen Beschreibung viele andere Factoren des Holzzuwachses gar nicht aufgeführt sind). Man kann, mit einem Worte, aus dem Kopf jener Ertragstafel und dem beigefügten Holzertrag keine Schlüsse über den Einfluß irgend eines Factors der Standortsgüte auf die Holzmassenerzeugung ableiten, so daß man etwa angeben könnte, wie

viel weniger Holz produzirt werden würde, wenn die Lage weniger frisch wäre.

Um den Einfluß von Boden, Lage, und Klima, auf den Gang des Holzzuwachses zu ermitteln, müßte man in einem normal beschaffenen Walde alle Factoren der Standortsgüte, also z. B. die mittlere Temperatur, den Gang der jährlichen und täglichen Wärme, die absolute und relative Feuchtigkeit der Luft, die Zahl, Richtung und Vertheilung der Winde, die Meereshöhe, die Abdachung und Exposition, die Tiefgründigkeit, Humushaltigkeit, Lockerheit und den Feuchtigkeitszustand des Bodens 2c. und hierauf den Durchschnittszuwachs des auf diesem Standort befindlichen Holzbestandes untersuchen. Dieser Durchschnittszuwachs d, welchen wir beispielsweise = 100 Kubikfußen pro Morgen annehmen wollen, ist ohnzweifelhaft ein Product aller jener Factoren.

Nun müßte man einen andern Bestand aussuchen, welcher in Bezug auf Holzart, Betriebsart, Holzalter, Waldbehandlungsart 2c., mit dem erstgenannten Bestande übereinstimmte, und dessen Factoren der Standortsgüte bis auf einen einzigen genau die nämlichen wären. Der eine abweichende Factor sei, z. B. die Abdachung, sie betrage hier 20, dort 15 Grade. Der Durchschnittszuwachs d' unseres zweiten Bestandes sei = 75 Kubikfußen gefunden worden, so wüßte man also, daß eine Vermehrung der Abdachung um 5 Grade einen Zuwachsausfall von 100 — 75 = 25 Kubikfußen oder von 25 Prozenten bewirke.

In ähnlicher Weise ließe sich der Einfluß aller übrigen Factoren der Standortsgüte bestimmen.

Wahrscheinlich wird die Veränderung irgend eines dieser Factoren nicht überall den nämlichen Effect in Bezug auf den Holzzuwachs hervorbringen; so kann z. B. unter Umständen ein Mangel an Tiefgründigkeit durch größere Feuchtigkeit des Bodens oder der Luft ersetzt werden. Es können hierdurch sehr complizirte Verhältnisse entstehen, welche unsere Aufgabe erschweren, aber unlösbar ist sie darum noch nicht geworden.

Bis jetzt fehlen indessen alle vorbereitenden Untersuchungen, um aus den Factoren der Standortsgüte unmittelbar den Ertrag ableiten, d. h. bonitiren zu können, und wir müssen uns daher nach andern Methoden zur Bonitirung umsehen.

β. Bonitirung nach Maßgabe der chemischen Zusammensetzung des Bodens.

Wir haben im ersten Abschnitte dieses Buches nachzuweisen gesucht, daß die chemische Zusammensetzung des Bodens auf den Holzertrag sehr wenig oder gar nicht influirt, weil unsere Holzgewächse eine geringe Summe von anorganischen Stoffen aus dem Boden aufnehmen, und jeder Boden genug von diesen enthält, um der Waldvegetation ihren vollen Bedarf liefern zu können. Aus diesem Grunde glauben wir auch, daß bei der directen Unter-

suchung der Factoren der Standortsgüte auf die chemische Analyse des Bodens gar keine Rücksicht zu nehmen sei.

Aber selbst in dem Falle, wenn unsere Ansicht eine irrige wäre, würde doch die chemische Zusammensetzung des Bodens für sich allein nicht ausreichen, um die Standortsgüte zu characterisiren. Der Ertrag würde immerhin auch noch von dem Klima, der Abdachung, Exposition und von den physikalischen Eigenschaften des Bodens abhängen. Durch die chemische Analyse des Erdreichs hätte man also nur einen einzigen Factor der Standortsgüte ausfindig gemacht. Hiernach möge man den Werth, welchen die chemische Untersuchung des Bodens in Bezug auf die Bonitirung besitzt, beurtheilen. Wir sind genöthigt, dem vorliegenden Gegenstande einige Aufmerksamkeit zu widmen, weil in neuerer Zeit wirklich die Ansicht aufgetaucht ist, daß zur Bonitirung des Bodens eine chemische Analyse desselben genüge.

Die Anhänger dieser Ansicht haben aber gewiß keine Vorstellung von der Arbeit gehabt, welche die practische Ausführung ihres Vorschlags nach sich ziehen würde. Jede nur einigermaßen genaue chemische Bodenanalyse erfordert wenigstens 14 Tage Zeit, wie der Verf., welcher sich längere Zeit mit Bodenanalysen beschäftigt hat, versichern darf. Nehmen wir nun an, eine Oberförsterei besitze nur 26 Bonitätsstufen, so würde der Wirthschafter ein volles Jahr dazu brauchen, um die Bodenanalysen für seinen Administrationsbezirk auszuführen. Aber gar manche Oberförsterei besitzt nicht 26, sondern viele hundert Bonitätsstufen, wobei wir natürlich von den kleineren Abwechselungen in der chemischen Zusammensetzung des Bodens, welche fast von Schritt zu Schritt stattfinden, abgesehen haben.

Diejenigen von unseren Lesern, welche sich eine genaue Kenntniß von dem Verfahren verschaffen wollen, welches man bei der quantitativen chemischen Analyse des Bodens einzuhalten hat, verweisen wir auf die vorzügliche Anleitung von Fresenius, welche sich in dessen Werke über „quantitative Analyse“ findet.

Für Diejenigen, welche nicht im chemischen Laboratorium gearbeitet haben, aber doch einen, wenn auch nur oberflächlichen Begriff von einer Bodenanalyse zu erlangen wünschen, wollen wir ganz kurz auseinandersetzen, wie man qualitativ die Zusammensetzung des Bodens ermitteln kann, und bemerken hierzu, daß die Methode der quantitativen Analyse wohl zuweilen, aber nicht immer, mit dem für die qualitative Untersuchung geeigneten Verfahren übereinstimmt.

Der Boden enthält sowohl organische Stoffe (von Pflanzen und Thieren), als auch Mineralsubstanzen.

Die organischen Stoffe (der Humus) geben sich gewöhnlich schon durch den bloßen Anblick zu erkennen. Ist wenig Humus vorhanden, so weist man ihn nach, indem man die Erde mit kohlensaurem Kali (oder auch Natron) kocht, dann filtrirt und die abgelaufene Flüssigkeit mit einer Säure, z. B. Schwe-

felsäure versetzt. Nun fällt eine schwarz- oder braunflockige Masse nieder, welche nichts anderes, als unlösliche Humussäure ist. Es hat sich nämlich durch das Kochen mit dem Alkali ein humussaures Salz gebildet; gibt man jetzt Schwefelsäure zu, so wird dieses Salz zerlegt; es entsteht schwefelsaures Kali (oder Natron) und die Humussäure schlägt sich nieder, weil sie bei Gegenwart einer Mineralsäure unlöslich in Wasser ist.

Wollte man durch Wiegen der getrockneten Humussäure auf die Menge des im Boden enthaltenen Humus schließen, so würde das Resultat nicht richtig sein; weil der Humus durch die Behandlung mit kohlensauren Alkalien in seiner Zusammensetzung verändert worden ist.

Um sowohl die Quantität, als auch die Zusammensetzung des Humus im Boden ganz genau zu erfahren, dazu gibt es nur eine einzige richtige Methode, nämlich diejenige, welche für die Analyse organischer Körper überhaupt üblich ist, und welche sich darauf gründet, daß man den Körper mit Kupferoxyd glüht und aus den Producten, welche sich bei der Verbrennung entwickeln, die Zusammensetzung berechnet. Es würde uns zu weit führen, wenn wir diese Methode hier im Einzelnen betrachten wollten; sie ist in jedem Lehrbuch der analytischen Chemie (z. B. in demjenigen von Fresenius) beschrieben. Diese Methode setzt aber voraus, daß man den Kohlensäuregehalt der kohlensauren Salze des Bodens vorher bestimmt habe, damit man nicht die Kohlensäure, welche sich durch das Glühen dieser Salze entwickelt, auf Rechnung des Humus bringe. Auch auf etwas Krystall- und Hydratwasser der anorganischen Verbindungen im Boden muß die gehörige Rücksicht genommen werden, damit man nicht den Wasserstoff dieses Wassers dem Humus zuschreibe.

Wollte man die Menge des Humus blos durch den Gewichtsverlust bestimmen, welchen die zu untersuchende Erde vor und nach dem Glühen zeigt, so würde das Resultat nicht richtig ausfallen, weil einestheils bei dem Glühen der Humus nie vollständig verbrennt, und anderntheils mit den organischen Substanzen auch das Krystallisations- und Hydratwasser ausgetrieben wird. Durch bloßes Trocknen kann man dieses nicht aus der Erde entfernen; es entweicht erst bei einer Temperatur, welche schon zerstörend auf den Humus einwirkt. Aus diesem Grunde ist es unmöglich, das Krystallisations- und Hydratwasser vorher zu verflüchtigen, ehe man die Verbrennung des Humus vornimmt.

Die anorganischen Stoffe des Bodens sind entweder Säuren, oder Basen, oder Salze. Um sie zu bestimmen, bringt man die Erde in Auflösung und schlägt dann einen Stoff nach dem andern nieder. Bei der qualitativen Analyse ist dies öfters nicht nöthig, hier hat man auch noch andere Mittel, um die in der Auflösung enthaltenen Substanzen zu erkennen.

Die Silicate im Boden (z. B. der Thon) lösen sich gewöhnlich erst dann, nachdem man sie mit Alkalien oder Baryt geglüht hat. Man wendet zu diesem Zwecke gewöhnlich Baryt an, weil die Erde nur sehr selten an und

für sich schon Baryt enthält. Bei dem Glühen verbindet sich die Kieselsäure des Silicats mit dem Baryt und der gebildete überbasisch kieselsaure Baryt läßt sich jetzt durch Salzsäure zerlegen. Dadurch wird die Kieselsäure in Freiheit gesetzt. Sie erscheint in Form einer Gallerte. Trocknet man jetzt die ganze Masse, so wird die Kieselsäure in Säuren und Wasser unlöslich; man kann sie daher abscheiden, wenn man den übrigen Theil der geglühten Masse mit Salzsäure auflöst.

In der Lösung befinden sich nun alle Basen und Säuren der Erde, ausschließlich der Kieselsäure. Man setzt zu dieser Lösung Schwefelammonium, letzteres schlägt Eisen, Mangan, phosphorsaure Erden und Thonerde nieder. Man filtrirt den Niederschlag ab; in der Flüssigkeit befinden sich Kalk, Magnesia, Kali und Natron.

Der Niederschlag wird in Salzsäure gelöst und zu der Lösung Kalilauge im Ueberschuß zugesetzt. Es fallen Eisen, Mangan und die phosphorsauren Erden. Gelöst bleibt die Thonerde.

Um das Eisen zu bestimmen, löst man wieder in Salzsäure und setzt Ferrocyankalium zu; dieses bildet mit Eisenoxydul einen weißen, mit Eisenoxyd einen tiefblauen Niederschlag. Das Mangan läßt sich finden, wenn man einen Tropfen der Flüssigkeit mit Soda auf einem Platinblech glüht; es entsteht mangansaures Natron, welches an seiner grünen Farbe kenntlich ist. Von der Bestimmung der Phosphorsäure werden wir nachher handeln.

Um die Thonerde, welche vorhin in Lösung blieb, noch genauer nachzuweisen, neutralisirt man das in der Flüssigkeit enthaltene Kali mit Salzsäure und setzt dann Ammoniak zu, welches die Thonerde fällt.

Diejenigen Stoffe, welche durch Schwefelammonium nicht niedergeschlagen wurden, sind Kalk, Magnesia, Kali und Natron. Um den Kalk zu finden, setzt man oxalsaures Ammoniak zu, es fällt oxalsaurer Kalk, welcher unlöslich ist, nieder. Die Magnesia schlägt man mit phosphorsaurem Ammoniak als phosphorsaure Magnesia nieder. Nun hat man noch Kali und Natron in der Flüssigkeit. Das erstere fällt man mit Platinchlorid als unlösliches Kaliumplatinchlorid ($KCl, PtCl_2$), und das noch in der Flüssigkeit enthaltene Natron weist man durch die Löthrohrflamme nach. Bringt man nämlich etwas von dieser Flüssigkeit an einem Platindraht vor jene Flamme, so wird das Natron zuerst zu Natrium reduzirt, verbrennt aber dann wieder mit Sauerstoff zu Natron, wobei sich die Flamme deutlich gelb färbt. Diese Farbe gibt das Vorhandensein von Natron zu erkennen.

Für die qualitative Analyse der Basen läßt sich nach dem Vorhergehenden folgendes Schema aufstellen:

Auf Zusatz von Schwefelammonium

fallen I	bleiben gelöst II
Eisen, Mangan, Thonerde, phosphorsaure Erden.	Kalk, Magnesia, Kali, Natron.

Die in I gefällten Stoffe werden in Salzsäure gelöst; zu der Lösung setzt man Kalilauge im Ueberschuß

Es fallen A	Es bleibt gelöst B
Eisen, Mangan, phosphorsaure Erden.	Thonerde.
Man löst in Salzsäure und weis't nach	Man neutralisirt das Kali mit Salzsäure und fällt die Thonerde mit Ammoniak.
a) Eisen mit Ferrocyankalium	
b) Mangan durch Glühen mit Soda auf einem Platinblech.	

Lösung II

a) Kalk wird mit oxalsaurem Ammoniak nachgewiesen.

b) Magnesia wird mit phosphorsaurem Ammoniak nachgewiesen.

c) Kali wird mit Platinchlorid nachgewiesen.

d) Natron ertheilt der Löthrohrflamme eine gelbe Färbung.

Bestimmung der Säuren. Wie die Kieselsäure nachgewiesen wird, ist bereits oben gezeigt worden. Außer dieser kommen im Boden noch Kohlensäure, Schwefelsäure, Phosphorsäure und Chlor, sämmtlich in Verbindung mit Basen vor. Die Kohlensäure läßt sich nachweisen, wenn man die Erde mit Salzsäure übergießt; ein Aufbrausen zeigt die Gegenwart der Kohlensäure an. Um die Schwefelsäure zu finden, setzt man zu der salzsauren Lösung der Erde Chlorbarium; es entsteht unlöslicher schwefelsaurer Baryt. Ebenso fällt die Phosphorsäure nieder, wenn man zu der Lösung essigsaures Ammoniak und Eisenchlorid gibt, es entsteht phosphorsaures Eisenoxyd, welches in Essigsäure unlöslich ist. Das Chlor findet man, wenn man die Lösung mit salpetersaurem Silberoxyd versetzt, es entsteht Chlorsilber, welches in Salpetersäure unlöslich, aber in Ammoniak löslich ist.

Indem wir in Vorstehendem eine Methode zur qualitativen Analyse des Bodens mittheilten, hatten wir nur den Zweck, dem Anfänger einen beiläufigen Begriff von der Sache zu geben. Es gibt andere Methoden, welche schneller und sicherer zum Ziele führen; die Darstellung derselben hätte aber weniger unserem Zwecke entsprochen.

b. Bonitirung des Bodens nach seinem vegetabilischen Ueberzuge.

Man hat die Beobachtung gemacht, daß einige Pflanzenspecies nur auf Böden von einer bestimmten mineralischen Zusammensetzung vorkommen, oder doch diese Bodenarten vorzugsweise bewohnen. Man hat hiernach bodenstete und bodenholde Pflanzen unterschieden und dieses Vorkommen zur Bonitirung des Bodens benutzen wollen.

Indessen findet die Bodenstetigkeit nur für sehr wenige Bodenarten statt; am bestimmtesten ist sie ausgeprägt bei den kochsalz- und kalkerdehaltigen Böden, weniger schon beim Sande. Bodenstete Pflanzen für den Thon und Lehm gibt es nach den Beobachtungen des Verf. keine, und diejenigen Pflan-

zen, welche z. B. auf dem Thone öfter erscheinen, als auf anderen Bodenarten, scheinen jenen mehr wegen der Feuchtigkeit zu lieben. Ueberhaupt hängt das Vorkommen der wildwachsenden Pflanzen (etwa mit Ausnahme der kalksteten und der Kali- und Natronpflanzen) mehr von dem Feuchtigkeitszustand des Bodens, als von dessen mineralischer Zusammensetzung ab.

Selbst wenn aber auch die Haupt-Bodenarten, welche wir unterschieden haben, ihre bodensteten Pflanzen besitzen sollten, so würde uns dies nicht viel nützen. Jene Bodenarten lassen sich gewöhnlich schon beim bloßen Ansehen oder Anfühlen unterscheiden, oder sie sind durch ihre Abstammung hinreichend characterisirt. Kein Forstmann wird z. B. bei dem Thon- oder Lehmboden nach den auf ihnen wachsenden Pflanzen suchen, um diese Bodenarten zu erkennen.

Zur Unterscheidung der Bodenarten leisten uns also die bodenholden sowohl, als die bodensteten Pflanzen einen nur sehr geringen Dienst.

In Bezug auf die Bonitirung des Waldbodens könnten wir nur dann von der Erscheinung der bodensteten Pflanzen Gebrauch machen, wenn diese Pflanzen genaue Anzeiger der Factoren der Standortsgüte oder wenigstens der Bodengüte wären. Nun geben zwar die kalksteten Pflanzen einen Kalkgehalt des Bodens ziemlich sicher an; allein wie schon früher ausgeführt wurde, ist die mineralische Zusammensetzung des Bodens für die Waldwirthschaft ohne Bedeutung, und was diejenigen Pflanzen anlangt, welche an einen gewissen Feuchtigkeitszustand des Bodens gebunden sind, so können sie den Forstwirth gewöhnlich nicht mehr lehren, als was er von seinen Waldbesuchen her schon ohnedies weiß.

Unter den bodensteten Pflanzen sind nur wenige, welche die Größe eines Strauches erreichen; sie besitzen keine tiefgehende Wurzeln und können also nicht zur Beurtheilung der Tiefgründigkeit — dieses Hauptfactors der Bodengüte benutzt werden.

Einige Pflanzenarten, wie z. B. Digitalis purpurea, Epipactis Nidus avis, Atropa Belladonna etc. zeigen gewöhnlich einen Humusgehalt des Bodens an. Welcher Forstwirth würde aber diesen, selbst ohne jene Pflanzen, nicht bemerken! Das Nämliche gilt von den Sumpf- und Torfgewächsen; Wem wird das Vorhandensein eines Sumpfes oder Torfgrundes entgehen!

Nachstehend führen wir, aber blos der Vollständigkeit halber, welche wir diesem Werke zu verleihen wünschen, einige bodenstete und bodenholde Pflanzen an.

Einen Gehalt des Bodens an Chlornatrium zeigen an: Salsola kali, Salicornia herbacea, Glaux maritima, Chenopodium maritimum, Triglochin maritimum, Rumex maritimus, Atriplex litoralis, Artemisia maritima, Plantago maritima, Glyceria maritima.

Kalkstete Pflanzen sind: Geranium columbinum, Coronilla coronata, Reseda lutea, Rubus saxatilis, Hieracium saxatile, Gentiana cruciata,

Rhododendron hirusutum, Plantago montana, Sessleria coerulea, Phleum Micheli. Diese Pflanzen kommen aber nicht blos auf einem Boden, welcher durch Verwitterung von kohlensauren Kalk entstanden ist, sondern auf allen Bodenarten vor, welche viel Kalk enthalten, wie z. B. auf Basalt, (dessen Kalkgehalt sich von dem Labrador-Feldspath herschreibt).

Kalkholde Pflanzen sind: Gentiana ciliata, Anthyllis vulneraria, Veronica urticaefolia, Sedum Telephium, Primula veris, Vinca minor, Alchemilla alpina, Epipactis latifolia, Luzula maxima.

Sandboden lieben: Elymus arenarius, Arundo arenaria, Carex arenaria, Festuca ovina, bromoides, duriuscula, Aira canescens, Statice Armeria, Plantago arenaria, Jasione montana, Dianthus arenaria, Calluna vulgaris, Sarothamnus scoparius, Pteris aquilina.

Auf Thonboden kommen häufig vor: Stachys palustris, Lathyrus tuberosus, Sonchus arvensis, Tussilago Farfara, Hieracium grandiflorum, Thlaspi campestre, Serratula arvensis, Bromus giganteus, Dactylis glomerata.

Einen humushaltigen Boden lieben: Digitalis purpurea, Urtica urens, dioica, Senecio vulgaris, Jacobaea, Epilobium angustifolium, Impatiens Noli tangere, Datura Stramonium, Fumaria officinalis, Epipactis Nidus avis, Lunaria rediviva, Lithospermum purpureo-coeruleum, Atropa-Belladonna, Arum maculatum, Asarum europaeum, Mercurialis perennis etc.

Die Torfgewächse haben wir bereits S. 73. genannt.

c. **Bonitirung des Bodens nach Maßgabe des auf ihm befindlichen Holzbestandes.**

Wir haben unter *α* gesehen, daß es uns bis jetzt unmöglich ist, eine Bonitirung des Bodens durch directe Untersuchung der Factoren von Boden, Lage und Klima zu bewerkstelligen. Wir wissen ja nicht, wie diese Factoren auf den Holzzuwachs einwirken, wenigstens ist uns das Maß dieser Einwirkung unbekannt.

Bonitiren heißt, nach der unter 1. aufgestellten Definition nichts Anderes, als den Haubarkeitsertrag bestimmen. Diesen kann man aber am einfachsten aus der gegenwärtigen Holzmasse des Bestandes selbst ableiten, denn in letzterer haben sich die Factoren des Bodens, der Lage und des Klima's, wenigstens zum Theil, schon ausgesprochen.

Die unter *α* geschilderte Methode will jene Factoren direct untersuchen, und nach ihnen den Haubarkeitsertrag einer Fläche bemessen. Der Holzbestand ist aber das Product der Einwirkung von Boden, Lage und Klima; seine Holzmasse gibt in einer Zahl den Gesammteinfluß aller jener verschiedenen Agentien der Standortsgüte zu erkennen.

Wenn eine Fläche schon mit Holz bestanden ist, so kann man, um sie zu bonitiren, d. h. den Haubarkeitsertrag einzuschätzen, doch offenbar nichts

besseres thun, als fragen: Wie haben sich Boden, Lage und Klima in dem Holzbestande ausgesprochen?

Gesetzt, man habe den Durchschnittszuwachs eines 50jährigen Buchenbestandes gleich 47 Cubikfußen pro Morgen gefunden, so wissen wir, daß jene 47 Cubikfuße das Resultat des Gesammteinflusses von Boden, Lage und Klima sind.

Nehmen wir nun weiter an, man habe die Masse eines andern Buchenbestandes von Jahr zu Jahr untersucht und hiernach eine Ertragstafel aufgestellt, nehmen wir weiter an, diese Ertragstafel weise für das 50te Jahr ebenfalls einen Durchschnittszuwachs von 47 Cubikfußen aus, so ist es wahrscheinlich, daß unser vorhiniger Bestand gleiche Standortsgüte mit dem Bestande, für welchen die Ertragstafel entworfen ist, besitze. Dort, wie hier, haben Boden, Lage und Klima im 50ten Jahre einen Durchschnittzuwachs von 47 Cubikfußen zu Wege gebracht; bis hierher scheinen also die nämlichen Factoren der Standortsgüte gewirkt zu haben. Wenn nun z. B. die Ertragstafel im Haubarkeitsalter 100 einen Durchschnittszuwachs von 80 Cubikfußen ausweist, so ist es wahrscheinlich, daß auch unser Bestand im Alter 100 einen Durchschnittszuwachs von 80 Cubikfußen liefern werde.

Hiermit wäre die Bonitirung bewerkstelligt; wir kennen den Haubarkeitsertrag, und auch die Durchforstungen lassen sich aus jener Ertragstafel entnehmen.

Wir haben es oben blos als wahrscheinlich hingestellt, daß eine Gleichheit des Durchschnittszuwachses zweier Bestände in einem gewissen Alter auf gleiche Standortsgüte (Bonität) schließen lasse. In der That ist dieser Schluß nur dann richtig, wenn jenes Alter nicht mehr weit von dem Haubarkeitsalter entfernt ist. Nur in diesem Falle kann man mit Sicherheit annehmen, daß sämmtliche Factoren des Bodens, der Lage und des Klima's sich schon deutlich ausgesprochen haben und daß bis zur Haubarkeit keine Aenderung in ihrer Wirkungsweise eintreten werde.

Um uns deutlicher auszudrücken, wollen wir ein Beispiel von einer solchen Aenderung anführen.

Nicht weit von dem Wohnort des Verf. liegt ein Berg, welcher bis zu 450 Metern Meereshöhe ansteigt. Dieser Berg ist, sowie die Ebene, aus welcher er sich erhebt, mit Buchen bestanden. Man hat nun die Beobachtung gemacht, daß der Bestand in der Ebene mit dem auf der Nordwestseite des Berges gleichen Zuwachs bis zum 50—60ten Jahre besitzt; von diesem Alter an ändert sich aber das Verhältniß, die Stangenhölzer auf dem Berge fangen nämlich plötzlich an, im Wachsthum zu stocken, ihre Wurzeln haben den felsigen Untergrund erreicht, während der Bestand in der Ebene noch fröhlich fortwächst. Wie man sieht, waren die Factoren der Standortsgüte bis zum 50—60ten Jahre gleich, nun änderte sich ein einziger, die Tiefgründigkeit. Der Wachsthumsgang der beiden Bestände wich von da an wesentlich ab.

Hätte man also den Haubarkeitsertrag des Bestandes auf dem Berg nach einer für den Bestand in der Ebene entworfenen Ertragstafel einschätzen wollen, so würde man einen Fehler begangen haben.

Wir sehen daher, daß man bei der Bonitirung nach Ertragstafeln immer darauf zu achten hat, ob die Factoren der Standortsgüte der beiden Bestände übereinstimmen. Um eine Vergleichung anstellen zu können, müßte die Ertragstafel an ihrer Spitze eine genaue Beschreibung von Boden, Lage und Klima tragen. Da die forstliche Bodenkunde und Klimatologie noch zu wenig ausgebildet ist, als daß man eine allgemein verständliche Beschreibung jener Factoren anfertigen könnte, und da außerdem der Kostenpunkt gegenwärtig noch verbietet, jene Beschreibung auf eine methodische Untersuchung zu gründen, wodurch sie natürlich noch mehr an Präcision verliert, so erscheint es, um eine möglichst richtige Bonitirung zu bewerkstelligen, nothwendig, daß der mit diesem Geschäft sich Befassende nur solche Ertragstafeln anwendet, welche er selbst entworfen hat. Diese Bedingung, so gerechtfertigt sie auch sein mag, läßt sich indessen nicht immer einhalten, namentlich nicht in dem Falle, wenn man die Bonitirungen durch den Wirthschaftsführer vornehmen lassen, wie es auch zweckmäßig ist, und nicht ein eigens auf das Geschäft eingeübtes Personal verwenden will.

Das vorhin angeführte Beispiel zeigt, daß man auch bei Bonitirungen nach Ertragstafeln Untersuchungen über den Einfluß der Factoren der Standortsgüte auf den Holzzuwachs nicht entbehren kann. Das Bonitirungsverfahren, welches wir eben darstellen, unterscheidet sich aber von dem unter a mitgetheilten dadurch sehr wesentlich, daß es nicht, wie dieses, aus der Untersuchung jedes einzelnen Factors der Standortsgüte den Holzertrag ableiten will, sondern in dem Holzbestande selbst die vereinigte Wirkung einer größern Zahl dieser Factoren erblickt, also auch diejenigen Factoren noch einmal besonders in Rechnung nimmt, welche der Ertragstafel und dem zu bonitirenden Bestand nicht gemeinschaftlich sind.

Wir haben bis jetzt das Verfahren der Bonitirung so dargestellt, wie es sein sollte und im Laufe der Zeit auch ausgebildet werden muß, wenn die Bonitirungen Anspruch auf Richtigkeit erlangen sollen; wir müssen jetzt noch angeben, welche Modificationen dieses Verfahren bei dem gegenwärtigen Standpunct der Forstwirthschaft zu erleiden hat.

Die Wissenschaft des Forstwesens beruht, so wie sie gegenwärtig besteht, mehr auf Beobachtungen, als auf direct angestellten Untersuchungen. Deswegen weiß man auch über den Einfluß, welchen die Factoren der Standortsgüte auf den Zuwachs haben, nur so viel, als man beim Durchwandern der Bestände eben ohne besondere Mühe wahrnehmen konnte; über das Maß jenes Einflusses weiß man aber gar nichts

Halten wir zum Beleg dieses Satzes das oben angegebene Beispiel fest. Gesetzt, man habe die Tiefgründigkeit auf dem Berge = 2 Fußen, im Thal = 10 Fußen gefunden; welcher Forstmann kann sagen, wie viele Kubikfuße

Zuwachsausfall ein Unterschied von 8 Fußen in der Tiefgründigkeit nach sich ziehen wird? Es mangelt durchaus an Untersuchungen, um diese Frage beantworten zu können.

Unter diesen Umständen läßt sich an den Ertragstafeln wenig ändern; man ist genöthigt, den Haubarkeitsertrag der Tafel geradezu für denjenigen des zu bonitirenden Bestandes gelten zu lassen, wenn nur der jeweilige Durchschnittszuwachs dieses Bestandes mit dem der Ertragstafel übereinstimmt. Aus denselben Gründen ist auch gegenwärtig eine Beschreibung von Boden, Lage und Klima am Kopfe der Ertragstafeln ohne allen Nutzen. Denn wer wäre im Stande, eine Erhöhung oder Ermäßigung des Ansatzes der Ertragstafel eintreten zu lassen, wenn er findet, daß die Standortsgüte der beiden Bestände nicht genau übereinstimmt? Wo sind die statischen Nachweise, auf welche er seine Aenderungen gründen will?

Wir wissen, daß der Ausfall eines Factors der Standortsgüte oft durch einen andern ersetzt werden kann. Dieser Fall kann eintreten, ohne daß wir den andern Factor genau zu bestimmen vermöchten. Ist es hier nicht besser, eine solche Ausgleichung der Factoren zu unterstellen, wenn man gefunden hat, daß der Durchschnittszuwachs des zu bonitirenden Bestandes mit dem der Ertragstafel übereinstimmt, als sich in Muthmaßungen zu ergehen, denen jeder reelle Halt fehlt?

Das Einzige, was wir bei dem gegenwärtigen Standpunkt des Forstfachs thun können, um Fehler zu vermeiden, besteht darin, daß wir die Ertragstafeln, nach welchen wir bonitiren wollen, so viel als möglich nach solchen Beständen entwerfen, welche sich nahe bei dem Orte befinden, wo die Bonitirung vorgenommen werden soll.

Begreiflicher Weise reicht man auf solchen Localitäten, wo die Standortsgüte wechselt, nicht mit einer einzigen Ertragstafel aus; es müssen deren so viele aufgestellt werden, als sich Aenderungen in der Standortsgüte bemerken lassen. Daß aber die Zahl der Ertragstafeln durch die Grenzen des practisch Möglichen bestimmt werden, brauchen wir blos für Anfänger zu bemerken, welche wegen Mangel eines practischen Wirkungskreises noch nicht in der Lage waren, einen Begriff von jenen Grenzen zu erlangen.

Auf schlechten Standorten ist nicht allein der Zuwachs geringer, als unter günstigen Verhältnissen des Bodens und des Klima's, sondern es tritt der Culminationspunct des Durchschnittszuwachses dort auch früher ein, letzterer hält weniger lange an und sinkt früher, als hier. Dieser Umstand ist für die Zahl der Ertragstafeln vorzugsweise entscheidend.

Tragen wir auf einer Abscissenlinie die fortlaufenden Bestandsalter auf, erheben wir auf diesen Abscissen die entsprechenden Ordinaten der Durchschnittszuwachse, welche in jenen Altern erfolgen, und verbinden wir die Endpuncte der Ordinaten durch einen Zug aus freier Hand, so stellt die Curve, welche hier entsteht, den Gang des Zuwachses von Jahr zu Jahr geometrisch dar.

Alle diese Zuwachscurven sind einander blos dann ähnlich, wenn sich die Ordinaten der einen durch Multiplication mit einem ständigen Coefficienten (oder Quotienten) aus den Ordinaten der andern ergeben. Ueberall, wo Aehnlichkeit der Curven stattfindet, reicht man mit einer Ertragstafel aus, denn der betreffende Quotient läßt sich ganz einfach finden, wenn man den Durchschnittszuwachs des zu bonitirenden Bestandes durch den Durchschnittszuwachs der Ertragstafel dividirt. Wir brauchen also nur dann neue Ertragstafeln zu entwerfen, wenn die Curven anfangen, die Aehnlichkeit zu verlieren.

Gesetzt, man habe drei Ertragstafeln entworfen, welche im 50. Jahre einen Durchschnittszuwachs von 44, 51 und 56 Cubikfußen pro Morgen, im 100. Jahre ein Durchschnittszuwachs von 67, 80, 93 Cubikfußen zeigen, während der zu bonitirende Bestand im Alter 50 einen Durchschnitszuwachs von 47 Cubikfußen besitzt, so sehen wir, daß unser Bestand annähernd in die Ertragstafel Nr. II. gehört, da er $\frac{47}{51} = 0{,}92$ von dem Durchschnittszuwachs dieser Tafel hat. Wir schließen jetzt weiter, daß auch der Haubarkeitsertrag unsers Bestandes nur 0,92 von demjenigen der Tafel betragen, demnach $= 80.0{,}92 = 73{,}6$ sein werde. Diese Annahme ist vielleicht nicht richtig; man kann sich denken, daß der Haubarkeitsertrag noch mehr, als 0,92 sinken werde; allein bei dem Mangel an statischen Notizen wird uns diese Vermuthung kaum Veranlassung geben können, eine weitere Aenderung vorzunehmen. Nach welchem Maßstab wollte man diese auch eintreten lassen?

Da die Bonitirung sich nur auf die Standortsgüte, und nicht auf die Bestandsgüte bezieht, so kann der jeweilige Durchschnittszuwachs eines Bestandes nur dann zur Auffindung der Ertragstafel benutzt werden, wenn dieser Zuwachs normal ist. Etwaige Abnormitäten, z. B. Lücken 2c. müssen deßhalb erst ausgeschieden werden. Indessen kann man bei der Reduction des wirklichen Durchschnittszuwachses auf den normalen nicht vorsichtig genug sein, weil gar manche Abnormitäten doch auch auf Rechnung der Standortsgüte kommen. So wird z. B. ein Buchenbestand, welcher mittelst natürlicher Verjüngung begründet worden ist, nur auf ganz besonders guten Standorten eine gleichmäßige und volle Bestockung besitzen. Wollte man hier die kleineren Lücken ausscheiden, so würde man einen Fehler begehen, weil nicht zu erwarten ist, daß diese Lücken in den folgenden Umtriebszeiten ausbleiben werden, vorausgesetzt, daß man die Verjüngungsmethode beibehalte. Etwas anderes ist es, wenn die Lücken durch starken Frevel entstanden sind und man mit Sicherheit hoffen kann, daß der Frevel künftig hin nicht mehr in so ausgedehntem Maße vorkommen werde. In diesem Falle müßten die Lücken in Abzug gebracht werden. Dies dürfte aber nicht geschehen, wenn man mit Bestimmtheit wüßte, daß der Frevel sich fortwährend in dem nämlichen

Maßstabe wiederholen werde. Bei der Berechnung des normalen Zuwachses sind also nur die außergewöhnlichen und nicht regelmäßig wiederkehrenden Störungen des Bestandswachsthums zu berücksichtigen.

Bisher wurde das Verfahren der Bonitirung für solche Bestände geschildert, welche schon ein mittleres Alter erreicht haben. Für ganz junge Bestände ist es nicht anzuwenden, desgleichen nicht für Blößen, wie sich von selbst versteht.

Bei ganz jungen Beständen ist die Aufnahme des Durchschnittszuwachses zum Zweck der Einschätzung des Haubarkeitsertrages von sehr geringem Nutzen; sie ist einestheils mit Schwierigkeiten verbunden, welche der Holzmassenaufnahme solcher Bestände im Wege stehen, zum andern kann sie aber auch, wenn man ihr Bedeutung beilegt, zu unrichtigen Bonitirungen führen. Manche Factoren der Bodengüte treten nur in der Jugend auf, andere günstige oder schädliche Einflüsse verschwinden später. Ein mit Kiefern untermischter Fichtenbestand kann im jugendlichen Alter geringen Zuwachs besitzen, wenn er durch die Ueberschirmung der vorgewachsenen Kiefern leidet; nach dem Aushieb der letztern steigt dann der Zuwachs plötzlich, und das Manco gleicht sich, wenn der Boden gut ist, in späteren Jahren wieder aus. Wollte man den Haubarkeitsertrag dieses Fichtenbestandes nach derjenigen Ertragstafel veranschlagen, welche für das nämliche Alter denselben Durchschnittszuwachs besitzt, so würde man hier einen zu niederen Ansatz erhalten. Oder nehmen wir an, die Fichten wüchsen auf einem angeschwemmten, sehr fruchtbaren, aber etwas tief gelegenen Boden, auf welchem sich leicht Fröste einstellen, so würde unter Umständen der Zuwachs dieses Bestandes in der Jugend und zwar so lange unbedeutend sein, bis die Fichten die Region des Frostes überwachsen hätten. Litten sie, wie dies häufig der Fall ist, nach dem sie eine gewisse Höhe erreicht hätten, nicht mehr von Fröften, so würde auch der volle Zuwachs eintreten, der dem fruchtbaren Boden entspricht.

Die Aufnahme des Durchschnittszuwachses ganz junger Bestände leistet also deßhalb für die Bonitirung nichts, weil sehr viele Ertragstafeln sich denken lassen, welche bis zu einem gewissen Alter hin zusammenfallen, später aber merklich auseinandergehen.

Hier scheinen wir also doch wieder auf das unter a angegebene Verfahren der Bonitirung hingewiesen zu sein. Allein da uns, wie oben bemerkt wurde, alle Kenntniß des Einflusses, den die Factoren der Standortsgüte auf den Zuwachs äußern, mangelt, so können wir von diesem Verfahren doch keine Anwendung machen. Unter diesen Umständen bleibt uns nichts übrig, als eine Annäherung an die zuletzt (c.) dargestellte Methode zu suchen. Diese Annäherung bewirken wir dadurch, daß wir nicht unmittelbar aus den durch eine specielle Untersuchung ermittelten Factoren der Standortsgüte auf den Zuwachs schließen, sondern diese Untersuchung blos dazu benutzen, um die Iden=

tität des Standorts von dem zu bonitirenden Bestand (oder der Blöße) mit einem andern Standorte, auf dem sich ein Bestand von vorgerückterem Alter befindet, nachzuweisen. Nach der Holzmasse dieses letzteren Bestandes würde man also die entsprechende Ertragstafel auswählen.

Bei Betriebsregulirungen und bei Waldwerthrechnungen kommt es fast immer vor, daß junge Bestände und Blößen zu bonitiren sind.

Hier sind also Kenntnisse aus der forstlichen Bodenkunde und Klimatologie unentbehrlich, und dies ist vielleicht der wichtigste Dienst, welchen diese Hülfswissenschaften dem forstlichen Hauptfach zu leisten haben. Zugleich möchte sich hieraus der practische Nutzen der Bodenkunde und Klimatologie, sowie die Aufforderung ergeben, diese Wissenschaften gründlicher, als es bisher geschehen ist, zu betreiben, namentlich aber die Ausbildung derselben durch directe Untersuchungen zu fördern. Mit bloßen Beobachtungen, welche man bei der Wanderung durch den Wald leicht anstellen kann, reicht man hier nicht aus.

Bisher hat man bei Bonitirungen zwar auch gewöhnliche Ertragstafeln benutzt, aber zur Auswahl der letztern öfters nicht das richtige Verfahren angewandt.

Statt nach dem Durchschnittszuwachse des zu bonitirenden, oder eines andern, mit gleicher Standortsgüte behafteten Bestandes die Ertragstafel zu bestimmen, aus welcher der Haubarkeitsertrag zu entnehmen sei, schätzte man die Ertragstafel ohne Weiteres ein.

Hiebei ließ man sich zwar gewöhnlich durch das Ansehen des Holzbestandes leiten; war dieses sehr gut, so nahm man z. B. die Ertragstafel Nr. I. war es weniger gut, die Ertragstafel Nr. II, war es mittelmäßig, die Tafel Nr. III, war es schlecht, die Tafel Nr. IV. Allein um die Einschätzung mit nur einigem Grade von Genauigkeit ausführen zu können, müßte man ein ganz genaues Bild von den Beständen im Kopf haben, aus welchen die Materialien zur Aufstellung der Ertragstafeln entnommen wurden. Dieses Bild auf die Dauer festzuhalten, möchte selbst Demjenigen sehr schwer fallen, welcher die Ertragstafeln selbst aufgestellt hat. Außerdem hängt aber der Holzgehalt eines Bestandes nicht blos von der Gerad- und Glattschaftigkeit, der Höhe und Vollholzigkeit der Stämme, sondern auch von der Stammzahl pro Morgen ab. Hält es schon sehr schwer, die erstgenannten Momente durch bloße Einschätzung auch nur beiläufig zu bestimmen (zumal, wenn der vergleichende Maßstab nicht in natura, sondern nur in der Einbildung vorhanden ist), so ist es doch geradezu unmöglich, die Stammzahl anders, als durch Zählen der Stämme zu ermitteln. Hat man sich aber einmal hierzu verstanden, so wird man am besten sogleich die Kluppe anlegen und den Massengehalt des Bestandes aufnehmen.

Bei jungen Beständen oder Blößen ließ man Einschläge in den Boden

machen, um die Tiefgründigkeit und die Feuchtigkeit zu untersuchen, und wählte hiernach die Ertragstafel aus, häufig ohne zu wissen, ob der in der Ertragstafel verzeichnete Bestand auf einem Boden von der nämlichen Tiefgründigkeit, dem nämlichen Feuchtigkeitsgehalte ꝛc. erwachsen sei. In der That enthalten die meisten Ertragstafeln keine Beschreibung des Bodens; man besitzt aber gar keine Ertragstafeln, in welchen alle Factoren der Standortsgüte angegeben wären.

Unter diesen Umständen reduzirte sich das Verfahren der Bonitirung darauf, daß man sich einen oberflächlichen Begriff von der Standortsgüte verschaffte und hiernach den Boden in bestimmte Klassen, ohne jeden genaueren Maßstab, eintheilte. Dann nahm man, und zwar ganz willkührlich, an, die Ertragstafeln, nach welchen die Bonitirung ausgeführt werden sollte, entsprächen ganz genau jenen eingebildeten Bodenklassen. Man legte diesen, wie jenen, die Prädicate „sehr gut, gut, mittelgut, mittelmäßig, schlecht, sehr schlecht" ꝛc. bei und glaubte, z. B. die Ertragstafel „Mittelgut" ohne Weiteres anwenden zu dürfen, wenn man den Boden für „mittelgut" erkannt hatte.

Man sieht wohl ein, daß es bei diesem Verfahren nothwendig ist, den Ertragstafeln Namen zu geben, denn ohne diese würde jeder Anhaltspunkt für die Einschätzung fehlen. Bloße Nummern geben den Begriff der Bonität bei weitem nicht so deutlich an; wenigstens gehört einige Zeit dazu, ehe man sich daran gewöhnt, mit der Nummer den Begriff der Bonitätsstufe zu verbinden.

Es kann wohl keine mangelhaftere Methode zu Bonitirung geben, als die oben dargestellte. Nicht nur, daß sie jeder Verläſſigkeit darüber entbehrt, ob der mit einem der obengenannten Prädicate bezeichnete Standort auch mit der gleichbenannten Ertragstafel übereinkommt, sondern es fehlt auch gänzlich der Maßstab, um die Zwischenstufen der Bonitäten einzuschätzen. Denn wer vermöchte nach bloßer Ansicht des Holzbestandes zu sagen, daß dieser z. B. 0,92 von der Haubarkeitsmasse der einen oder der andern Ertragstafel liefern werde? Und doch kann die Abweichung von 8 Prozenten, wie das oben angeführte Beispiel zeigt, unter Umständen einen bedeutenden Ertragsausfall bewirken.

Bei dem Verfahren der Bonitirung, welches wir von vornherein unter c empfohlen haben, fällt die Benamung der Bonitätsstufen hinweg. Es genügt, daß man jeder Ertragstafel eine Ordnungsnummer ertheile.

Oefters ist schon das Verlangen ausgesprochen worden, man möge sich über eine allgemein gültige Benamung der Bonitätsstufen vereinigen. Selbst auf mehreren der größeren forstlichen Versammlungen hat man dieses Ansinnen vorgebracht. Zugleich wünschte man, daß zu jenen Namen noch der Haubarkeits-Durchschnittszuwachs oder Ertrag gefügt werde.

Dieser Wuhsch ist das Resultat einer gänzlichen Unkenntniß von dem, was man unter „Bonität" zu verstehen hat.

Offenbar sind die Erträge unserer Holzarten sehr verschieden nach dem Standorte. So wird man z. B. in einer Gegend, welche vorzugsweise trockenen Sandboden besitzt, den Ertrag der Kiefer auf den etwas frischeren Lagen als „sehr gut" bezeichnen, während er für eine andere Gegend, in welcher es dem Boden stellenweise nie an Feuchtigkeit mangelt, im Verhältniß zu den stets frischen Standorten schlecht genannt werden muß. Die Prädicate „Sehr gut, gut" 2c. haben nur eine ganz relative Bedeutung.

Auch die Zahl der Bonitätsstufen hat man festgestellt wissen wollen. Bonität ist in unsern Augen nichts anderes, als ein Synonym für Ertragstafel, und die Zahl dieser hängt wieder von der Localität ab. Es müssen so viele Etrtragstafeln entworfen werden, als sich Aenderungen im Zuwachsgange ergeben. Läßt sich eine Ertragstafel durch Multiplication der Durchschnittszuwachse mit einem ständigen Coefficienten aus der andern Ertragstafel ableiten, so ist eine von beiden entbehrlich geworden. Es können nur solche Ertragscurven passiren, welche einander nicht ähnlich sind. Die Zahl der Bonitäten richtet sich daher nach der Zahl der nicht ähnlichen Ertragstafeln, welche man für eine gewisse Localität entwerfen muß. An dem einen Orte kann man mit einer einzigen Ertragstafel ausreichen, während man an dem andern Orte drei Ertragstafeln oder Bonitätsstufen aufstellen muß.

Neunzehntes Buch.

Einfluß der Waldungen auf den Boden und das Klima.

1. Einfluß der Waldungen auf die Zusammensetzung der Luft.

In der Natur finden verschiedene Vorgänge statt, durch welche der Atmosphäre Sauerstoff entzogen wird. Es sind dies vorzüglich der Verbrennungs-, Verwesungs- und Athmungsprozeß.

Obgleich die Verbrennung und Verwesung sich darin wesentlich unterscheiden, daß bei ersterer der Sauerstoff der Luft auch direct an den Kohlenstoff der verbrennenden organischen Substanz treten kann, während bei der Verwesung der Sauerstoff der Luft sich nur mit dem Wasserstoff der organischen Substanz verbindet, so stimmen die beiden Prozesse doch darin überein, daß sie gleichviel Sauerstoff erfordern. Wenn also z. B. ein Stück Holz verwest, so bedarf es der nämlichen Menge Sauerstoff, um eine gewisse Quantität Kohlenstoff und Wasserstoff austreten zu machen, als wenn die beiden letzteren durch den Act der Verbrennung entfernt worden wären.

Die Menge Sauerstoff, welche durch den Athmungsprozeß consumirt wird, ist nicht unbedeutend. Der Mensch braucht im Durchschnitt täglich ein Kilogramme Sauerstoff; wenn nun, wie man gewöhnlich annimmt, auf der Erde 1000 Millionen Menschen leben, so werden durch das Athmen täglich 1000 Millionen Kilogramme Sauerstoff absorbirt. Der Sauerstoff, den der Athmungsprozeß der Thiere erfordert, dürfte eben so viel, wenn nicht noch mehr, betragen.

Betrachtet man die Quantität des Sauerstoffs, welche der Verbrennungs- Verwesungs- und Athmungsprozeß erfordern, im Verhältniß zu der Menge Sauerstoff, welche die ganze Atmosphäre enthält, so sieht man, daß jene nur einen sehr kleinen Bruchtheil von diesem ausmacht. Unter der Voraussetzung, daß die Verbrennung und Verwesung dreimal so viel Sauerstoff consumiren, als der Athmungsprozeß, berechnet Dumas, daß die Luft nach Ablauf eines Jahrhunderts nur $\frac{1}{134000}$ ihres Sauerstoffgehaltes verloren haben werde.

Wie gering diese Quantität auch sei, so steht doch fest, daß eine fortwährende Entziehung von Sauerstoff die Luft im Laufe der Zeit verderben

muß. Wenn dies in 100 Jahren noch nicht bemerklich ist, so tritt es vielleicht in 500, in 1000 Jahren hervor, und da wir bis jetzt keinen Grund haben, an der Fortdauer der Erde und des Menschengeschlechtes zu zweifeln, so müssen wir annehmen, daß irgend eine spätere Generation die Nachtheile einer Verschlechterung der Luft empfinden werde.

Die Natur hat dafür gesorgt, daß der Verlust an Sauerstoff, welchen die Atmosphäre durch die genannten drei Prozesse erleidet, wieder ersetzt wird. Der Ersatz findet statt durch den Vegetationsprozeß.

Wie wir früher gesehen haben, rührt der Kohlenstoff der Pflanzen von der Kohlensäure der Luft her. Die Gewächse nehmen Kohlensäure auf, zerlegen diese, behalten den Kohlenstoff und geben den Sauerstoff in Gasform wieder von sich.

Eigentlich erstatten nur der Verbrennungs- und der Athmungsprozeß der Luft die volle Quantität von Kohlensäure zurück, welche sie durch den Assimilationsprozeß der Pflanzen verloren hat. Denn bei der Verbrennung wird oder kann sämmtlicher Kohlenstoff zerstört werden, und auch bei dem Athmungsprozesse tritt die ganze Menge Kohlenstoff, welche die Animalien behufs der Respiration in den Speisen genießen, in Form von Kohlensäure wieder aus, wenigstens ist dieses bei gesunden, ausgewachsenen Menschen und Thieren der Fall, deren Gewicht sich von Tag zu Tage nicht ändert. Bei der Verwesung dagegen bleibt stets eine nicht unbeträchtliche Quantität Kohlenstoff unverbunden mit Sauerstoff zurück. Wir haben früher (S. 65) gesehen, daß von den 36 Aeq. Kohlenstoff, welche das Holz (C_{36} H_{22} O_{22} ist die Zusammensetzung der Holzfaser) enthält, nur 11 Aeq. in Form von Kohlensäure austreten, und daß somit 25 Aeq. Kohlenstoff (als Moder) zurückbleiben. Es kann also aus der Kohlensäure, welche z. B. ein Pfund verwestes Holz geliefert hat, nicht wieder ein Pfund frisches Holz sich bilden. Dazu wären noch 25 Aeq. Kohlensäure erforderlich. Zu der Erzeugung von 1 Pfd. Holz wird also die Kohlensäure von mehr als drei Pfunden verwesten Holzes verbraucht. Demnach vermindert sich der Kohlensäuregehalt der Luft durch den Verwesungsprozeß fortwährend, während der Sauerstoffgehalt derselben zunimmt. Wahrscheinlich wird aber der Verlust an Kohlensäure, den die Luft auf die angegebene Weise erleidet, wieder durch die Verbrennung des fossilen Kohlenstoffs ausgeglichen. Da die Steinkohle, Braunkohle und der Torf nichts anderes, als der Kohlenstoff sind, welcher bei einer unvollständigen Verwesung der Holzfaser zurückgeblieben ist, so wäre also dafür gesorgt, daß der Moder, oder ein Aequivalent desselben, wieder in Form von Kohlensäure in die Atmosphäre zurückkehrt.

2. Einfluß der Waldungen auf die Temperatur der Luft und des Bodens.

Wie wir früher gesehen haben, absorbirt die Luft nur wenig von der Wärme der Sonnenstrahlen, welche sie passiren; die Erwärmung der Atmo-

sphäre geht vorzüglich von dem Boden aus, nachdem sich dieser durch die aufgefallenen Sonnenstrahlen erwärmt hat.

a. **Einfluß der Waldungen auf die Sommertemperatur.**

Im geschlossenen Walde können die Sonnenstrahlen nicht bis zum Boden gelangen, sie treffen zumeist nur die Kronen der Bäume. Diese wird aber von den Sonnenstrahlen nicht in dem Maße erwärmt, wie der Boden, weil die Blätter und Nadeln stets Feuchtigkeit enthalten, welche verdunsten kann. Die Wärme, welche die Sonnenstrahlen den Blättern zuführen, wird also dazu verbraucht, um die Saftflüssigkeit in Dampf zu verwandeln. Der Dampf entweicht mit der nämlichen Temperatur, welche das Wasser besitzt, aus dem er sich entwickelt. Die von den Sonnenstrahlen den Blättern zugeführte Wärme ist also latent geworden (Vergl. S. 180).

Hieraus folgt unwiderleglich, daß im Sommer während des Tages die Temperatur im Walde geringer sein muß, als über dem Felde, oder über vegetationslosen Flächen.

Was nun aber das Maß der Temperaturdifferenz anlangt, so mangeln hierüber zuverlässige Beobachtungen. Auch ergibt sich aus Vorstehendem noch lange nicht, ob überhaupt die Sommertemperatur in wälderreichen Gegenden gegenüber waldarmen oder waldlosen geringer ist, denn im Walde kühlt sich die Luft während der Nacht auch nicht so stark ab, als im Freien. Die Wärme, welche der Boden und die Luft ausstrahlt, wird wieder von den Stämmen, den Zweigen und Blättern reflectirt. Jedermann weiß, daß die Nächte bei bedecktem Himmel nicht so kalt sind, als wenn der Himmel klar ist, weil die Wolken die von der Erde ausgehenden Wärmestrahlen zurückwerfen. Genau ebenso, wie eine Wolke, wirkt das Kronendach der Bäume.

Die Thatsache, daß es im Sommer bei Tage im Walde kühler, bei Nacht aber wärmer ist, als im Freien, steht, wenn auch nur durch die Beobachtung des Gefühls, welches Wärme oder Kälte in uns erwecken, fest. Man sucht an heißen Sommertagen den kühlen Wald auf, und wer die Nacht außerhalb seiner Wohnung zubringen muß, legt sich lieber im Walde, als im freien Felde nieder, weil er weiß, daß es dort wärmer ist.

Aber — wie schon oben bemerkt wurde — man ist, so lange genaue Temperaturbeobachtungen fehlen, nicht im Stande, mit Bestimmtheit zu sagen, ob die Wärme der Nacht im Walde größer oder geringer, als die Temperaturerniedrigung bei Tage sei.

Die so oft ausgesprochene Behauptung, daß waldreiche Gegenden kühlere Sommer besitzen sollen, als waldarme oder waldlose Localitäten, ist also bis jetzt nicht im Geringsten erwiesen.

b. **Einfluß der Waldungen auf die Wintertemperatur.**

Die nämliche Ursache, welcher man es zuschreiben muß, daß im Sommer die Nacht im Walde wärmer ist, als im Freien, bewirkt auch, daß der

Boden im Walde während der kalten Jahreszeit nicht so viel Wärme durch Ausstrahlung verliert, als dies beim Felde der Fall ist. Dazu kommt noch, daß das Laub, Moos und überhaupt der Humus, welcher den Boden in den Waldungen bedeckt, als schlechter Wärmeleiter die Erde gegen eine plötzliche Abkühlung im Herbste schützt. Da die Erde im Winter mehr Wärme durch Strahlung einbüßt, als ihr von der Sonne zugeführt wird, so ist es wahrscheinlich, daß die durch den Baumschlag gehinderte Wärmestrahlung von größerer Bedeutung für die Bewahrung einer höhern Temperatur im Walde sei, als das Quantum Wärme, welches dem Boden zukommen würde, wenn ihn die Sonnenstrahlen direct treffen könnten. Wir stellen diesen Satz ausdrücklich nur als wahrscheinlich hin, weil alle positiven Beobachtungen mangeln, welche die Richtigkeit desselben verbürgen könnten.

Fast in jedem Winter tritt einmal eine Erniedrigung der Temperatur von solchem Belang ein, daß der Wärmeüberschuß, welchen der Boden in den Feldern ꝛc. bis in den Winter hinein bewahrt hat, aufgezehrt wird. Ist dieses geschehen, hat sich die Temperatur im Walde und im Freien ausgeglichen, so hält sich die Kälte im Walde viel länger bis in das Frühjahr hinein. Denn jetzt verhindert der Baumschlag, daß die Sonnenstrahlen den Boden treffen, und das Laub, Moos, der Humus ꝛc., daß die Luftwärme sich dem Boden durch Leitung mittheilen kann. Daher dauert der Winter im Walde etwas länger an. Wer hätte noch nicht beobachtet, wie der Schnee unter den Bäumen im Walde oft viele Wochen später weggeht, als im freien Felde. Das Zurückbleiben der Temperatur im Walde äußert wieder einen Einfluß auf die Bäume selbst; es hält das Austreiben derselben im Frühjahr zurück. Dieser Umstand ist für die Waldvegetation vielleicht von Vortheil, es werden dadurch die Beschädigungen der Spätfröste gemindert.

c. Einfluß der Waldungen auf die mittlere Jahrestemperatur.

Um den Einfluß, welchen die Wälder auf die mittlere Jahreswärme äußern, zu bestimmen, gibt es drei Methoden. Man kann nämlich diesen Einfluß auf theoretischem Wege nach den allgemeinen Gesetzen der Physik bemessen, oder die Temperatur bewaldeter und nicht bewaldeter Gegenden vergleichen, oder ermitteln, ob durch Waldausrottungen Veränderungen in der mittlern Jahrestemperatur bewirkt worden sind.

Nach dem Vorhergehenden ist es noch unbestimmt, ob die Waldungen die Sommertemperatur erniedrigen und die Wintertemperatur erhöhen. Es läßt sich daher auch nicht angeben, welchen Einfluß die Wälder auf die mittlere Jahrestemperatur äußern. Wäre es aber auch ausgemacht, daß in waldreichen Gegenden die Sommer kühler, die Winter dagegen wärmer seien, als in waldlosen oder waldarmen Ländern, so würde man immer noch nicht entscheiden können, ob die mittlere Jahrestemperatur durch die Waldungen nicht geändert, oder erhöht, oder erniedrigt werde, so lange man das Maß der

Temperaturdifferenzen noch nicht kennt, welche durch den Wald im Sommer und Winter bewirkt werden.

Ein Umstand, welchen wir bisher noch nicht erwähnt haben, trägt dazu bei, die Temperatur in den Waldungen zu erniedrigen, ohne daß sich indessen angeben ließe, ob hierdurch die größere Wärme, welche dem Walde aus andern, vorhin angeführten, Ursachen zukommt, ganz absorbirt, oder ob sogar hierdurch die mittlere Jahrestemperatur waldreicher Gegenden unter das Mittel von waldarmen Orten herabgestimmt werde. Wir meinen die stagnirende Feuchtigkeit, welche sich natürlich in Wäldern eher halten kann, als im Freien, weil sie dort vor dem Luftzug und der Sonne mehr geschützt ist. Im offenen Lande wird diese Feuchtigkeit schnell durch Sonne und Wind aufgezehrt, und wenn auch die Verdunstung, welche durch den Wechsel der Luft hervorgerufen wird, stets von einer Temperaturerniedrigung des zurückbleibenden Wassers, des Bodens und der mit diesem in Berührung stehenden Luft begleitet ist, so dauert doch die Kälte nicht lange an, sie wird durch Sonne und Luftzug wieder aufgehoben. Anders ist es aber, wenn die Verdunstung der stagnirenden Feuchtigkeit das ganze Jahr hindurch währt, und wenn zugleich der Zutritt von wärmerer Luft gehemmt ist; in diesem Falle wird die Temperatur der nassen Fläche in einem fort heruntergestimmt. Aber — wie schon oben bemerkt wurde — es läßt sich nicht sagen, in welchem Maße die Verdunstungskälte des stagnirenden Wassers auf die Temperatur in den Waldungen einwirkt.

Man hat bisweilen den Einfluß der Waldungen auf die Temperatur dem des Meeres gleichgestellt. Allein dieser Vergleich ist ganz ungegründet. Das Meer zeigt im Sommer blos deßwegen eine niederere Temperatur, als das Land, weil es eine größere Wärmecapacität besitzt. Um ein Pfund Wasser auf 1 Grad zu erwärmen, braucht man eine fünfmal größere Wärmemenge, als um einem Pfund trockner Erde dieselbe Temperatur zu ertheilen. Das Wasser des Meeres nimmt wegen seiner Durchsichtigkeit die Wärme, welche ihm durch die Sonnenstrahlen zugeführt wird, zum größten Theil auf, nur ein kleiner Theil geht durch die an der Oberfläche stattfindende Verdunstung verloren; im Walde wird aber alle Wärme der Sonnenstrahlen, welche das Kronendach treffen, zur Verdunstung der in den Blättern ꝛc. enthaltenen Feuchtigkeit verwendet; es ist hier keine so große Wassermenge vorhanden, in welcher sich die Wärme aufspeichern könnte.

Wenn das Meerwasser im Winter wärmer ist, als die Erde auf dem Festlande, so rührt dies daher, weil das Meer im Laufe des Sommers überhaupt eine größere Wärmesumme aufgenommen hat, während eine höhere Temperatur des Waldes im Winter nur auf der gehinderten Wärmeausstrahlung beruhen könnte.

Man weiß, daß die Erhöhung der Wintertemperatur bei den im Meeresklima gelegenen Ländern verhältnißmäßig größer ist, als die Erniedrigung der

Sommertemperatur. Alles dieses ist durch directe Beobachtungen am Thermometer erwiesen. Daher erklärt es sich ganz einfach, warum das Meeresklima eine höhere mittlere Jahrestemperatur, als das Continentalklima zeigt. Die oben angegebenen Unterschiede in der Erwärmung des Meeres und der Waldgegenden lehren aber, daß es unstatthaft ist, aus der größeren mittlern Jahrestemperatur der Küstenländer eine ebensolche größere Jahreswärme für die Waldgegenden ableiten zu wollen.

Die zweite von den vorhin angeführten drei Methoden zur Bestimmung des Einflusses, welchen die Waldungen auf die mittlere Jahrestemperatur äußern sollen, ist vorzüglich von Moreau de Jonnes befolgt worden.

Moreau de Jonnes, welcher im Jahr 1825 eine Schrift über den Einfluß der Waldungen auf das Klima veröffentlicht hat *), stellt die Ansicht auf, die Waldungen drückten die mittlere Jahrestemperatur herab. Er sucht diesen Satz dadurch zu beweisen, daß er die mittlere Temperatur von Orten in waldreichen und waldarmen oder waldlosen Gegenden, aber unter derselben geographischen Breite, vergleicht.

Die Resultate, zu welchen Moreau de Jonnes gelangt ist, könnten nur dann als entscheidend betrachtet werden, wenn derselbe sämmtliche Einflüsse des Klima's in Rechnung gezogen hätte, welche bewirken, daß der Lauf der Isothermlinien von den Parallelkreisen der Erdoberfläche abweichen. Das hat aber dieser Schiftsteller gänzlich unterlassen.

Alle die Beispiele, welche Moreau de Jonnes gewählt hat, zeigen nur den Einfluß des Seeklima's und daß die Westküsten der Continente höher temperirt sind, als das Innere oder die Ostküsten derselben. Dies rührt, wie wir S. 214 ausführlich nachgewiesen haben, von dem Vorherrschen der feuchtwarmen westlichen Winde auf beiden Hemisphären her. Moreau de Jonnes gibt kein einziges Beispiel von der niedrigen Temperatur eines an einer Westküste gelegenen Waldlandes.

Da die Schrift von Moreau de Jonnes bei vielen Forstwirthen, welche nicht die zur Prüfung jener Schrift nothwendigen meteorologischen Kenntnisse besitzen, noch in Ansehen steht, und Botaniker, sowie auch Staatswirthe, denen die Eigenthümlichkeiten des Waldes fremd sind, sich auf dieselbe öfters noch zu beziehen pflegen, so halten wir es der Mühe werth, einige der hervorragendsten Beispiele jenes Buches hier zu beleuchten.

„Paris, sagt Moreau de Jonnes, liegt unter 48°50′ Breite; Regensburg unter 48°56′ Breite; die mittlere Temperatur der ersteren Stadt beträgt 11°,8; die der zweiten 8°,7, mithin Unterschied 3°. Die Waldungen bedecken

*) Die Schrift führt den Titel: Recherches sur les changemens produits dans l'état physique des contrées par la destruction des fôrets Bruxelles 1825. Sie wurde 1828 von Widemann in's Deutsche übersetzt Tübingen bei Osiander.

beinahe den dritten Theil von Bayern; wenn man dagegen, um die Ausdehnung derjenigen zu schätzen, welche in dem Landstrich liegen, welcher Paris umgibt, die Departements der Seine, der Seine und Marne, der Seine und Oise und der Eure und Loire zusammenfaßt, so findet man, daß hier auf einer Fläche von 910 Quadratmeilen die Waldungen 2000 Kilometer einnehmen, was nicht einmal den achtzehnten Theil derselben ausmacht."

„Brüssel liegt unter 50°50′ und Prag unter 50°05; die mittlere Temperatur des erstern Orts beträgt 11°, die des zweiten 9°,7; der Unterschied ist 1,93 oder beinahe 2 Grade. Die Waldungen bilden mehr, als zwei Siebentheile, oder beinahe den dritten Theil von Böhmen, während sie höchstens den achten Theil des — Brüssel umgebenden — Landes bedecken."

In derselben Weise vergleicht Moreau de Jonnes Leyden in Holland und Berlin und bringt den Unterschied der Temperaturen, welcher 3°,17 zu Gunsten der erstgenannten Stadt beträgt, auf Rechnung der Waldarmuth Hollands gegenüber dem zum dritten Theil mit Wald bedeckten Preußen.

Alle die vorangeführten Beispiele zeigen nicht den Einfluß der Waldungen, sondern den der See auf die mittlere Temperatur.

In den folgenden Beispielen rührt die geringere Temperatur von der Lage an einer Ostküste her.

„Neapel liegt an den Ufern des Mittelländischen Meeres unter 40°50′, Newyork am Atlantischen Meer unter 40°50′; die mittlere Temperatur der ersteren dieser Städte beträgt 19°,5, die der zweiten 12°,1; der Unterschied ist also 7°,4. In Italien sind die Waldungen beinahe gänzlich zerstört; in den Vereinigten Staaten bedecken sie den größten Theil des Landes."

In diesem Beispiel ist sogar ganz übersehen, daß die Ostküste von Amerika, an welcher Newyork liegt, auch schon an großer Waldarmuth leidet. Sollte dies aber zu der Zeit, als Moreau de Jonnes schrieb (1825), noch nicht der Fall gewesen sein, so beweist doch gerade der Umstand, daß die Temperatur von Newyork sich bis heute nicht geändert hat, daß die niedere mittlere Jahreswärme von Newyork im Gegensatz zu Neapel nicht auf dem Einflusse der Waldungen beruht.

Weiter ist die Temperatur von Cairo mit der von New-Orleans, die Temperatur von Surinam mit der von St. Louis am Senegal verglichen. Der angebliche Einfluß der Waldungen kommt hier wieder auf Rechnung der Lage an einer östlichen Küste.

Gehen wir nun zur Würdigung der dritten Methode über.

Man hat die den Waldungen zugeschriebene Veränderung der Temperatur aus den Veränderungen folgern wollen, welche das Klima von Deutschland seit den Zeiten der Römischen Invasion erfahren haben soll. Tacitus nennt die Winter in Deutschland streng, er sagt, das Obst gerathe daselbst nicht (Germania frugiferum impatiens). Nach den Begriffen von Tacitus, welchem das milde Italische Klima als Maßstab galt, hätten die Winter in

Deutschland wohl bis zum heutigen Tage nichts von ihrer Strenge verloren, und was das Mißrathen des Obstes anlangt, so gibt es jetzt noch bei uns viele Gegenden, welche gar kein Obst produziren. Auch selbst in denjenigen Lagen von Deutschland, welche vorzugsweise zur Obstzucht geeignet sind, geräth das Obst doch nicht alle Jahre.

Es ist nicht gerade unwahrscheinlich, daß das Klima von Deutschland seit Tacitus Zeit milder geworden ist, denn es sind viele Waldungen im Laufe der Jahrhunderte ausgerottet und zu Ackerland angelegt worden; mit den Wäldern verschwanden zugleich manche Sümpfe und sonstige Behälter stagnirenden Wassers. Allein dieser Vortheil könnte wieder als verloren zu betrachten sein, wenn es sich erweisen sollte, daß der Wald (wegen der Zurückstrahlung der Bodenwärme 2c.) die Winterkälte ermäßigt.

Die Beweise, welche man dafür beizubringen gesucht hat, daß das Klima solcher Länder, in welchen Waldausrottungen stattgefunden haben, verbessert oder verschlechtert worden sei, stehen auf sehr schwachen Füßen. Zum ersten läßt sich eine Veränderung der Temperatur wohl nicht ohne das Thermometer bestimmen, ein Instrument, welches erst seit hundert Jahren in einer zu genauen Temperaturmessungen geeigneten Beschaffenheit angefertigt wird. Wenn man also untersuchen will, ob die Temperatur sich im Laufe der Zeit geändert habe, so muß man sich nach andern Methoden umsehen, um die Temperatur zu ermitteln, welche vor der Ausrottung des Waldes geherrscht hat. Man hat hierzu die periodischen Erscheinungen des vegetativen Lebens, sowie das Vorkommen von gewissen Pflanzen benutzt, von denen man weiß, welcher Temperatur sie zu ihrem Gedeihen bedürfen. Allein dieser Maßstab ist ein sehr unsicherer, denn die periodischen Erscheinungen der Vegetation treten, auch ohne daß das Klima sich wesentlich ändert, in verschiedenen Jahren nicht zu der nämlichen Zeit ein; man müßte also Durchschnittswerthe aus früheren Zeiten haben, an denen es aber gänzlich mangelt. Was die geographische Verbreitung der Pflanzen anlangt, so hängt diese nicht blos von der Temperatur, sondern auch vom Boden 2c. ab, und es kann daher der Verbreitungsbezirk einer Pflanze im Laufe der Zeit gewechselt haben, ohne daß die Temperatur einer Aenderung unterworfen gewesen wäre. Außerdem sind die Gewächse, von deren Vorkommen wir Notizen in den Schriften der Alten finden, fast nur solche, welche der Agricultur angehören. Je nach der Stufe, auf welche sich diese befand, mußte auch die Verbreitung der künstlich angebauten Pflanzen sich ändern. Zu allem Diesem kommt noch, daß der geographische Bezirk, innerhalb dessen die Verbreitung einer Pflanze sich bewegen kann, nicht von einem genau bestimmbaren Temperaturgrade abhängt, sondern eine größere Anzahl von Graden umfaßt.

Zum Zweiten bliebe noch übrig, festzustellen, ob wirklich eine Waldausrottung stattgefunden habe. Dies wird aber gewöhnlich unmöglich sein. Bis zum heutigen Tage kennt man die Flächengröße der Waldungen von Preußen

und Oesterreich nicht genau, weil die Waldungen noch nicht alle vermessen sind. Woher wollte man also wissen, ob die Waldungen von Egypten, oder gar von Ostindien sich vermindert haben! Und doch hat man angebliche Temperaturveränderungen in diesen Ländern von der Ausrottung der Waldungen abhängig machen wollen.

Der einzige richtige Weg zur Bestimmung des Einflusses, den die Wälder auf die Temperatur äußern, besteht darin, daß man die letztere gleichzeitig an zwei Punkten, von denen der eine innerhalb einer compacten Waldmasse, der andere im Freien sich befindet, mittelst des Thermometers untersucht, dabei aber darauf Rücksicht nimmt, ob nicht sonstige klimatische Verschiedenheiten zwischen diesen beiden Punkten bestehen, welche an und für sich schon eine Abweichung der Temperaturen verursachen können.

3. Einfluß der Waldungen auf die Hydrometeore.

a. Einfluß der Waldungen auf die Regenmenge.

Ehe wir zur Entscheidung der Frage übergehen, ob die Waldungen eine Vermehrung oder Verminderung der atmosphärischen Niederschläge bewirken können, haben wir uns an die Bedingungen zu erinnern, unter welchen solche Niederschläge überhaupt erfolgen.

Wie S. 248 bemerkt worden ist, besteht für jede Temperatur ein Maximum von Wasserdampf, welches die Luft aufzunehmen vermag. Ist dieses Maximum vorhanden und sinkt jetzt die Temperatur, so tritt ein Theil des Dampfes in den flüssigen Zustand über, und es entsteht, je nach den Umständen, Regen, Thau, Reif, Schnee ꝛc. Eine Erniedrigung der Temperatur begünstigt also den Niederschlag der atmosphärischen Feuchtigkeit.

Werden zwei Luftschichten, welche beide vollständig mit Dampf gesättigt sind, mit einander gemengt, so wird ebenfalls ein Theil des Dampfes in flüssigem Zustand abgeschieden, weil die Maxima von Dampf, welche die Luft bei bestimmten Temperaturen aufzunehmen vermag, in einem stärkeren Verhältnisse, als die Temperaturen wachsen. Wenn sich also die verschiedenen Temperaturen der beiden Luftschichten auf eine gemeinschaftliche Temperatur ausgleichen, so bleibt ein Ueberschuß von Dampf, der ausgeschieden werden muß. Ja es kann sogar ein Niederschlag erfolgen, auch wenn die beiden Luftschichten nicht vollständig mit Feuchtigkeit gesättigt, dagegen verschieden temperirt sind. Die Bildung von Nebel, Regen ꝛc. wird begünstigt, wenn eine mit Wasserdampf versehene Luftschichte eine andere trifft, welche ebenfalls Wasserdampf enthält.

Wenn die Waldungen eine Vermehrung der atmosphärischen Niederschläge bewirken sollten, so könnte dies also dadurch geschehen, daß sie eine niedrigere Temperatur besitzen, als waldlose Gegenden, oder daß in ihnen die Luft mehr mit Wasserdampf beladen ist.

Was nun die Temperatur in den Wäldern anlangt, so haben wir unter

2. gesehen, daß dieselbe allerdings zu gewissen Tages- und Jahreszeiten geringer, als über dem freien Felde ist. Die Waldungen könnten also im Sommer während des Tages und gegen Ende des Winters auf die Vermehrung der Regenmenge einwirken. Anders verhält es sich dagegen in den Sommernächten und zu Anfang des Winters. Zu diesen Zeiten herrscht in den Wäldern eine höhere Temperatur, als im Freien, welche dem Zustandekommen von atmosphärischen Niederschlägen (Regen und Thau) nicht günstig ist.

Um also zu bestimmen, ob die Waldungen auf eine Vermehrung der Regenmenge einwirken, müßte man die Abweichungen, welche der Gang der Temperatur in Wäldern gegenüber dem freien Felde zeigt, kennen. So lange aber hierüber keine comparativen Beobachtungen vorliegen, sind wir außer Stande, theoretische Schlüsse über den Einfluß der Waldungen auf die Regenmenge zu ziehen.

Daß die Luft in den Waldungen, wenigstens zu gewissen Jahreszeiten, einen höheren relativen Feuchtigkeitsgehalt besitzt, als im Freien, scheint ziemlich ausgemacht zu sein, und läßt sich auch leicht erklären. Das Wasser, welches in den Zwischenräumen des Bodens vertheilt ist, kann in Waldungen nicht so schnell verdunsten, weil es gegen die directe Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützt und weil in den Wäldern der Luftzug gehemmt ist. Wir wissen, wie der Wind die Verdunstung befördert. Er treibt die mit Wasserdampf gesättigten Luftschichten fort und bringt an deren Stelle neue, trockene Luft, welche befähigt ist, abermals Wasserdampf aufzunehmen. Nun ist, wie Jeder weiß, die Luft im Wald immer ruhiger, als im Freien; es wird deßhalb die Luft in den Holzbeständen sich nicht blos stärker mit Wasserdampf beladen, sondern es wird auch die Bodenfeuchtigkeit nicht auf einmal aufgezehrt werden, also fortwährend die Verdunstung unterhalten können.

Um uns darüber zu belehren, in wie fern die feuchte Luft des Waldes den Eintritt des Regens begünstigen könne, brauchen wir blos die schon früher behandelte Frage über das Schweben der Wolken wieder aufzunehmen. Die Wolken bestehen nicht aus Wasserdampf, sondern aus Nebelbläschen, welche, weil sie schwerer als die Luft sind, fortwährend sich senken, aber während des Fallens durch den von der Erde aufsteigenden warmen, resp. trockenen Luftstrom wieder aufgelöst, d. h. in Wasserdampf verwandelt werden. Da dieser specifisch leichter ist, als die Luft, so steigt er wieder in die Höhe, wo er sich in den kälteren Schichten der Atmosphäre von Neuem zu Nebel verdichtet. Trifft aber das fallende Nebelbläschen keine trockene, sondern eine schon mit Feuchtigkeit gesättigte Luft, so löst es sich nicht wieder auf, sondern kommt bis zur Erde hinunter. Durch die Vereinigung der Bläschen entstehen die Regentropfen.

Wenn es also ausgemacht wäre, daß die Luft in Wäldern feuchter sei, als im Freien, so könnte es keinem Zweifel unterliegen, daß in den Waldungen mehr Regen fällt, als unter sonst gleichen Umständen außerhalb des

Waldes. Diejenigen Holzarten, welche zu starker Blattausdünstung geneigt sind, wie z. B. die Laubhölzer, müßten vortheilhafter auf die Vermehrung der Regenmenge einwirken, als die Nadelhölzer, von denen man annimmt, daß sie weniger Feuchtigkeit verdunsten.

Auch dadurch, daß die Waldungen ein mechanisches Hinderniß für den Zug der Regenwolken bilden, können sie auf die Vermehrung der Regenmenge einwirken. Sie halten diese Wolken in ihrem Laufe auf, und geben ihnen dadurch Zeit, ihren Gehalt an Wasser fahren zu lassen. Von manchen Orten, z. B. Bergen in Norwegen, Heidelberg ꝛc. weiß man, daß sie die größere Regenmenge, durch welche sie von andern Orten unter der nämlichen geographischen Breite ausgezeichnet sind, den in ihrer Nähe befindlichen Gebirgen verdanken; warum sollten die Wälder, wenn auch nur im Kleinen, nicht eine ähnliche Wirkung hervorbringen können?

Alles Dasjenige, was wir bisher angeführt haben, macht es zwar wahrscheinlich, daß die Waldungen die Regenmenge vermehren; allein eine Gewißheit in dieser Beziehung geben unsere Argumente bei weitem noch nicht. So lange wir keine positiven Zahlen über die Temperaturerniedrigung und den Feuchtigkeitszustand der Luft in den Wäldern besitzen, sind wir außer Stande, anzugeben, ob die durch die Waldungen bewirkte Vermehrung der Regenmenge erheblich genug sei, um überhaupt in Betracht gezogen zu werden.

Man sollte nun denken, die vorliegende Frage ließe sich ganz einfach auf practischem Wege durch Vergleichung der Regenmenge von bewaldeten und nicht bewaldeten Orten lösen. Dies ist auch in der That der Fall; allein die bis jetzt vorhandenen Materialien reichen zu einer solchen Vergleichung nicht aus. Es müssen dazu besondere Untersuchungen angestellt werden, bei denen man es in der Hand hat, alle Verhältnisse so zu wählen, daß der ausschließliche Einfluß der Waldungen deutlich hervortritt. Hierzu ist vor allen Dingen erforderlich, daß die beiden Puncte, an denen die Regenmesser aufzustellen sind, nicht zu weit auseinanderliegen, weil man sonst keine Gewißheit darüber hat, ob nicht andere Einflüsse, als diejenigen der Waldungen, mitgewirkt haben.

In Ermangelung directer Untersuchungen hat man sich bisher darauf beschränkt, alle Notizen, aus welchen sich nur einigermaßen folgern ließe, daß die Waldungen die Regenmenge vermehren oder auch (wie Einige meinen) vermindern, zusammenzusuchen, leider aber mehr auf die Zahl, als auf die Schärfe der Belege gesehen. Man hat die Literatur des Alterthums durchstöbert, um nachweisen zu können, daß Medien, Syrien ꝛc. durch die Ausrottung der Wälder ein trockenes Klima erhalten haben, ohne die geringste Sicherheit darüber zu besitzen, ob die Waldungen jener Länder wirklich gelitten haben. Aber auch angenommen, daß dieses der Fall gewesen sei, so ist es immer noch nicht erwiesen, ob die Verminderung der Wälder jene Ver-

änderungen im Klima bewirkt habe, oder ob die letzteren nicht anderen Ursachen zugeschrieben werden müssen.

Wenn an die Stelle eines fleißigen, ackerbautreibenden Volkes ein träges, oder ein nomadisirendes tritt, so gewinnt, wie sich leicht begreifen läßt, die Oberfläche des früher cultivirten Landes ein ganz anderes Ansehen; statt bebauter Felder und frischer Wiesen erblickt man jetzt öde Strecken, welche regellos mit wildwachsenden Pflanzen, Heiden 2c. bestanden sind, die den Eindruck eines dürren Klima's machen. Die Beschaffenheit der Erdoberfläche ist auf's innigste an den Gang der Cultur des Menschengeschlechtes gebunden.

b. Einfluß der Waldungen auf den Wasserreichthum der Quellen, Flüsse und Seen.

Auf den Wasserreichthum der Quellen*) (demnach auch der Bäche, Flüsse und Seen, welche ja wieder durch die Quellen unterhalten werden) können die Waldungen in zweifacher Weise einwirken, nämlich

α. dadurch, daß sie die Regenmenge vermehren oder vermindern,

β. dadurch, daß sie die niederfallenden Meteorwasser aufnehmen und erst nach und nach an den Boden, namentlich an die tieferen Lagen desselben, abgeben, somit die Nachhaltigkeit der Quellen sichern.

Was den ersten Punkt (α.), also die Vermehrung oder Verminderung der Regenmenge anlangt, so haben wir unter a. gesehen, daß hierüber noch alle sicheren Beweise fehlen. Wir wissen nicht, wie die Wälder auf die Regenmenge einwirken, und wenn es auch, vom theoretischen Standpunct aus betrachtet, wahrscheinlich ist, daß die Wälder das Zustandekommen mancher atmosphärischen Niederschläge, insbes. des Regens, begünstigen, so mangeln doch alle Anhaltspunkte über das Maß dieser Einwirkung.

Man hat deshalb gerade in dem Wasserreichthum der Quellen ein sicheres Argument für den Einfluß der Waldungen auf die Regenmenge erblicken zu dürfen geglaubt, aber, wie wir sogleich sehen werden, nicht mit Recht, weil dieser Einfluß durch die unter β. erwähnten Erscheinungen, sowie durch andere Umstände, welche wir ebenfalls in der Folge berücksichtigen werden, wieder verdeckt werden kann.

Nehmen wir in der That vorerst einmal hypothetisch an, daß die Regenmenge sich nach dem Abholzen einer Waldfläche, welche das Wasser zur Speisung einer Quelle liefert, nicht vermindere, so wird doch die Ergiebigkeit der Quelle unter den gewöhnlichen Verhältnissen sich ändern. Das Regenwasser welches sich sonst in den Blättern der Bäume fing und nach und nach auf den mit Laub und Moos bedeckten Boden abträufelte, wird jetzt unmittelbar auf den Boden gelangen und von diesem eher abfließen, als es eingedrungen ist. Dies bezieht sich vorzugsweise auf die steileren Lagen, wo nach dem Abtrieb

---

*) Ihre Entstehung, s. S. 522.

des Waldes der Humus und die obere, lockere Erde bald durch das Regen- und Schneewasser abgespült wird.

Die Abholzung eines Waldes würde also in dem angenommenen Falle zur Folge haben, daß das Wasser sich schnell in die Bäche und Flüsse begibt und diese periodisch stark anschwellen macht, aber die Ergiebigkeit der Quellen, welche hauptsächlich von dem in die Erde versinkenden Wasser abhängt, wird nachlassen — alles dieses, wie wir wohl zu beachten bitten, ohne daß sich die Regenmenge geändert hat.

Die Beobachtung des Wasserstandes der Quellen kann uns also keinen Aufschluß darüber liefern, ob durch Abholzung von Waldungen die Regenmenge sich vermindert habe.

Hierzu kommt noch, daß auf abgeholzten Flächen ein großer Theil des niedergefallenen Meteorwassers durch die Wärme der Sonne und durch den Wind aufgezehrt wird, ehe es in den Boden eingedrungen ist, während dieses Wasser im Walde durch den Baumschlag gegen Verdunstung geschützt ist und nach und nach in den Boden sickern kann.

Die Theorie spricht also dafür, daß sowohl die Ergiebigkeit, als auch die Nachhaltigkeit der Quellen durch Entwaldung gefährdet wird, und aus der Beobachtung hat sich, einige wenige Fälle abgerechnet, das Nämliche ergeben. Wir könnten eine große Zahl von belegenden Beispielen aus allen Theilen der Erde anführen, beschränken uns aber auf die Mittheilung einer einzigen von Boussingault überlieferten Beobachtung, welche wir deswegen als ganz besonders entscheidend ansehen, weil sie zeigt, daß der Wasserreichthum mehrerer Quellen, welcher durch Ausrottung von Wald bedeutend geringer geworden war, sich von Neuem herstellte, nachdem eine Wiederbewaldung stattgefunden hatte. Halten wir uns an die eigenen Worte Boussingault's:

„Einer der interessantesten Landstriche Venezuela's ist unstreitig das Thal von Aragua. In geringer Entfernung von der Küste gelegen, und begünstigt durch ein warmes Klima und einen Boden von beispielloser Fruchtbarkeit, vereinigt es alle Culturgewächse, die sich für die Tropenländer eignen; auf den Hügeln, welche in der Mitte des Thals sich erheben, sieht man nicht ohne Erstaunen Felder, die an den Ackerbau Europa's erinnern. Auf den Höhen, die La Vittoria beherrschen, gedeiht der Waizen recht gut; im Norden beschränkt durch die Berge der Küste, im Süden durch eine Gebirgskette von den Llanos geschieden, findet sich das Thal von Aragua im Osten und Westen durch eine Reihe Hügel begrenzt die es vollkommen schließen."

„In Folge dieser eigenthümlichen Oberflächengestaltung führen die Flüsse, die in ihm ihren Ursprung nehmen, ihr Wasser nicht dem Oceane zu; ihre Gewässer vereinigen sich in dem niedrigsten Theile des Thales und bilden hier in ihrer Vereinigung den schönen See von Tacarigua oder Valencia. Dieser See, der nach v. Humboldt an Ausdehnung den von Neufchatel übertrifft,

liegt 439 Meter über dem Meer; seine Länge beträgt ungefähr 10 Lieues, seine größte Breite übersteigt nicht $2^1/_2$ Lieues."

„Als Humboldt das Thal von Aragua besuchte, waren die Bewohner wegen der allmähligen Austrockung, welcher der See seit 30 Jahren entgegenging, sehr in Sorge. Es genügt in der That, die von den älteren Schriftstellern gegebenen Beschreibungen mit seinem gegenwärtigen Zustande zu vergleichen, nachdem man einen guten Theil für die Uebertreibungen in Abzug gebracht hat, um zu erkennen, daß der Wasserstand beträchtlich niedriger geworden ist. Die Thatsachen sprechen sehr vernehmlich für sich selbst. Oviedo, der gegen Ende des sechszehnten Jahrhunderts das Thal von Aragua so oft durchwandert hatte, sagt ganz bestimmt, daß Neu-Valencia im Jahre 1555 in einer halben Lieue Entfernung vom See von Tacarigua gegründet worden war; im Jahre 1800 fand Humboldt, daß die Stadt 2560 Meter von dem Gestade des Sees entfernt lag."

„Das Ansehen des Terrains gibt hierfür neue Belege. Hügel, welche sich in der Ebene erheben, führen noch heute den Namen Inseln, den sie damals mit vollem Rechte trugen, als sie noch vom Wasser umgeben waren. Die durch das Zurückweichen des Sees trocken gelegten Ländereien waren in bewunderungswürdige Culturen von Baumwollenstauden, Bananen und Zuckerrohr verwandelt. Nahe am Ufer des Sees erbaute Wohnungen sahen dies Wasser von Jahr zu Jahr sich mehr entfernen. Im Jahre 1796 kamen neue Inseln zum Vorschein. Ein wichtiger militärischer Punct, eine 1740 auf der Insel der Cabrera erbaute Festung befand sich damals (1796) auf einer Halbinsel. Endlich fand Humboldt beim Besuch zweier Inseln aus Granit, Cura und Cabo Blanco, mitten unter Gesträuchen, bei einigen Metern Höhe über dem Niveau des Wassers, feinen mit Heliciten vermengten Sand. So bestimmte und unzweideutige Thatsachen mußten Seitens der Gelehrten des Landes zahlreiche Erklärungen hervorrufen, die sich alle in der Annahme vereinigten, das Wasser des Sees habe einen unterirdischen Abfluß, durch welchen dasselbe in den Ocean gelange. Humboldt verwarf diese Hypothesen, und erklärte nach einer gründlichen Untersuchung der Ortsverhältnisse die fortschreitende Verminderung des Tacariguasees aus dem Urbarmachen großer Strecken Landes, welches seit einem halben Jahrhundert in dem Thale von Aragua stattgefunden hat."

„Seit Oviedo, der wie alle Chronikenschreiber, über die Verminderung des Sees gänzlich schweigt, hat der Anbau von Indigo, Zuckerrohr, Baumwolle, Cacao eine außerordentliche Ausdehnung gewonnen. Das Thal von Aragua hatte im Jahre 1800 eine so dichte Bevölkerung, wie die bestbevölkerten Theile Frankreichs, und man war überrascht, den Wohlstand zu erblicken, der in zahlreichen Dörfern dieser gewerbthätigen Gegend herrschte. So war der gewöhnliche Zustand dieses schönen Landes beschaffen, als Humboldt die Hacienda von Cura bewohnte."

„Fünfundzwanzig Jahre später untersuchte ich (Boussingault) auf meiner Reise das Thal von Aragua. Ich nahm meinen Aufenthalt in der kleinen Stadt Maracay. Seit mehrern Jahren hatten die Bewohner die Beobachtung gemacht, daß sich das Wasser des Sees nicht allein nicht mehr verminderte, sondern sogar ein merkliches Steigen wahrnehmen lasse. Ländereien, unlängst noch durch Baumwollenstauden bepflanzt, waren unter Wasser gesetzt. Die Inseln von Nuevas Aparecidas, 1796 aus dem Wasser hervorgetreten, waren von Neuem für die Schifffahrt zu gefährlichen Untiefen geworden. Die Landzunge der Cabrera, auf der Nordseite des Thales, war so schmal, daß die kleinste Anschwellung des See's sie vollständig überfluthete; ein anhaltender Nordwestwind war hinreichend, um die Straße von Maracay nach Neu-Valencia mit Wasser zu bedecken. Die von den Uferbewohnern so lange gehegten Befürchtungen hatten ihre Natur verändert; es war nicht mehr die völlige Austrocknung des Sees, was mit Sorgen erfüllte. Man fragte sich, ob diese Wasser noch lange Zeit fortfahren würden, sich des Eigenthums der Bewohner zu bemächtigen; diejenigen, welche die Abnahme des Sees aus dem Vorhandensein unterirdischer Canäle erklärt hatten, waren genöthigt, diese zu schließen, um eine Erklärung von dem Steigen des Wassers zu geben.

„Während der bis zu dieser Zeit verflossenen 22 Jahre hatten schwere politische Ereignisse das Land heimgesucht; Venezuela gehört nicht mehr Spanien. Das friedliche Thal von Aragua war der Schauplatz der blutigsten Kämpfe gewesen. Ein Krieg auf Tod und Leben hatte die lachenden Gefilde zerstört, ihre Bevölkerung decimirt. Beim ersten Ruf nach Unabhängigkeit fand eine große Anzahl Sclaven ihre Freiheit, unter den Fahnen der neuen Republik Dienste nehmend. Die großen Anpflanzungen wurden verlassen, und der unter den Tropen so unaufhaltsam vordringende Wald hatte in kurzer Zeit einen Theil des Landes, welches Menschen ihm durch eine längere, als hundertjährige und beschwerliche Arbeit abgenommen hatten, wieder an sich gerissen."

„Zur Zeit des zunehmenden Wohlstandes des Thales von Aragua waren die Hauptzuflüsse des Sees abgeleitet, und zu Bewässerungsanlagen benutzt, die Flußbette lagen länger denn sechs Monate des Jahres über trocken; in der spätern Zeit, von der oben die Rede war, wurden ihre Wasser nicht mehr benutzt und ihrem natürlichen Laufe überlassen."

„Während der Entwicklung der landwirthschaftlichen Gewerbe im Thale von Aragua, als die Urbarmachungen sich vervielfältigten und der Anbau im Großen an Ausdehnung zunahm, verminderte sich allmählig das Niveau des See's; später, während einer unglücksschweren, glücklicherweise nun überstandenen Periode wurden die Urbarmachungen seltener, und die durch den Anbau im Großen in Anspruch genommenen Ländereien zum Theil dem Walde wiedergegeben; das Wasser vermindert sich nicht mehr und nimmt bald eine nicht mehr zweideutige steigende Bewegung an."

Wir legen, wie schon oben bemerkt wurde, auf die vorstehende, von

Boussingault mitgetheilte Beobachtung deswegen so viel Gewicht, weil sie ebensowohl den negativen, wie den positiven Einfluß der Waldungen auf die Quellen zeigt. Nicht blos, daß die Ergiebigkeit der fließenden Gewässer abnahm, als der Wald ausgerottet wurde, sie stellte sich auch wieder her, nachdem der Wald sein früheres Gebiet wieder einzunehmen anfing.

Die überwiegende Mehrzahl der Beispiele, welche die klimatologischen Schriften über den Einfluß der Waldungen auf die Quellen enthalten, beziehen sich blos auf den Fall, daß der Wasserreichthum von Quellen nach erfolgter Abholzung von Wäldern sich vermindert habe, oder daß die Quellen ganz ausgeblieben seien. In allen diesen Beispielen könnte jenes Ereigniß auch noch von andern Ursachen, als von der Waldausrottung abzuleiten sein. Um den Einfluß des Waldes unwiderlegbar darzuthun, hätte man auch zeigen müssen, daß die Ergiebigkeit der Quelle wieder in ihren früheren Stand zurückgetreten sei, wie es von Boussingault in dem Beispiele vom See Tacarigua geschehen ist.

Nicht durch eine große Menge, sondern durch die Richtigkeit der Beispiele lassen sich Beweise führen, und die Schriftsteller, welche sich bemüht haben, die nachtheiligen Folgen der Waldausrottung zu beweisen, würden besser gethan haben, wenn sie sich blos auf die vorhin erzählte Beobachtung Boussingaults gestützt hätten, anstatt durch eine große Zahl unverbürgter Angaben Bedenken über die Zuverlässigkeit der Theorie zu erwecken, deren Beweis durch jene Angaben geliefert werden sollte.

Möge man sich, wenn es gilt, den so wichtigen Einfluß der Waldungen auf die Quellen zu ermitteln, inskünftige nicht darauf beschränken, die Beobachtungen so aufzunehmen, wie sie der Zufall bietet. Die Forstwirthschaft gibt genug Gelegenheit, um wirkliche Versuche anzustellen, bei denen man die entscheidenden Bedingungen nach Belieben herstellen kann. An vielen Orten Deutschlands findet der Waldabtrieb mittelst Kahlschlägen statt, hier ließe sich die vorliegende Frage leicht entscheiden, weil man nicht blos bemerken kann, ob die Ergiebigkeit einer Quelle nach der Abholzung nachläßt, sondern auch, ob sie sich nach erfolgtem Wiederanbaue des Holzes von Neuem einstellt.

Die von Boussingault mitgetheilte Beobachtung vom See Tacarigua scheint zu beweisen, daß die Regenmenge durch die Ausrottung der Waldungen vermindert worden ist; wenn man sich aber dessen erinnert, was unter β angegeben worden ist, so wird man finden, daß die Abnahme des Wasserstandes vom See Tacarigua sich auch noch in anderer Weise erklären läßt. Man kann sich nämlich denken, daß ein Theil der meteorischen Niederschläge auf der entwaldeten Fläche von der Wärme der Sonne und vom Winde aufgezehrt worden sei, was bei voller Bewaldung unterblieben sein würde. In der That führt Boussingault noch ein Beispiel an, welches zeigt, daß eine Ausrottung von Wald zwar die Ergiebigkeit der Quellen, aber nicht die jähr-

liche Regenmenge verminderte. Folgen wir wieder den eigenen Worten jenes großen Naturforschers.

„Das metallführende Gebirge von Marmato liegt in der Provinz Popayan, in der Mitte unermeßlicher Wälder. Das Flüßchen, an welchem die Pochwerke errichtet sind, entsteht aus der Vereinigung mehrerer kleinen Bäche, die ihre Entstehung auf der Hochebene von San Jorge nehmen. Die ganze Gegend oberhalb des Etablissements ist ausnehmend dicht mit Wald bewachsen."

„Im Jahre 1826, als ich diese Bergwerke zum ersten Male besuchte, bestand Marmato aus einigen elenden, von Negersclaven bewohnten Hütten; 1830, als ich den Ort verließ, bot Marmato das belebteste Ansehen dar; man sah große Werkstätten, eine Goldschmelzhütte und Maschinen, um das Erz zu zerkleinern und zu amalgamiren. Eine freie Bevölkerung von fast 3000 Seelen fand sich in verschiedener Höhe auf dem Abhange des Gebirges. Zahlreiche Holzschläge fanden statt, sowohl zur Erbauung der Maschinen und Wohnungen, als zur Gewinnung von Kohlen. Um den Transport zu erleichtern, hatten die Schläge auf den Hochebenen von San Jorge stattgefunden. Der Abtrieb hatte kaum zwei Jahre gedauert, als man bemerkte, daß die Wassermasse, deren man für den Betrieb der Maschinen bedurfte, fühlbar abgenommen hatte. Die Maschinen selbst hatten das Wasser gemessen. Die Frage war von Gewicht, denn eine Abnahme des bewegten Wassers zu Marmato würde stets von einer Abnahme an produzirtem Golde begleitet sein."

„Zu Marmato ist es durchaus nicht wahrscheinlich, daß ein örtliches und so beschränktes Abschlagen des Holzes auf eine solche Weise auf die meteorologische Beschaffenheit der Atmosphäre hätte einwirken können, um die jährliche Regenmenge, die auf die Gegend niederfällt, variiren zu machen. Uebrigens schickte man sich in Marmato sofort an, einen Regenmesser aufzustellen. Obgleich die Holzschläge fortgesetzt worden waren, so erhielt man doch während des zweiten Beobachtungsjahres eine größere Menge Regen, als im ersten Jahre, ohne daß man hierbei eine merkliche Zunahme der bewegenden Wassermasse beobachtet hätte."

„Ohne Zweifel sind zweijährige Beobachtungen für die Bestimmung der Regenmenge, unter den Wendekreisen wenigstens, genügend, um eine wirkliche Veränderung in der jährlichen Regenmenge nachzuweisen; aber die Beobachtungen zu Marmoto stellen außerdem fest, daß sich die Masse des fließenden Wassers vermindert hatte, obgleich die Regenmenge im zweiten Jahr viel bedeutender gewesen war."

Die beiden Beispiele, welche wir nach der Autorität Boussingault's angeführt haben, zeigen also übereinstimmend, daß die Ergiebigkeit der Quellen durch die Ausrottung der Wälder verringert wird, wenn sie es auch unentschie-

den lassen oder gar unwahrscheinlich machen, ob jene Erscheinung auf einer Abnahme der jährlichen Regenmenge beruht.

Bei der Mehrzahl der Deutschen Flüsse will man eine Abnahme des Wasserstandes gegen früher wahrgenommen haben, wie folgende, von Berghaus entworfene Zusammenstellung zeigt.

Namen der Flüsse	Mittlerer Wasserstand		
	1811—1820	1821—1830	1831—1835
Rhein	8′ 9″, 30	8′ 9″, 30	7′ 8″, 00
Weser	. . . . .	3′ 4″, 94	2′ 11″, 39
Elbe	6′ 1″, 69	6′ 9″, 53	5′ 10″, 01
Oder	3′ 1″, 42	3′ 1″, 69	2′ 10″, 40
Weichsel	4′ 10″, 62	4′ 6″, 28	3′ 0″, 36
Memel	7′ 0″, 28	7′ 9″, 82	7′ 2″, 31

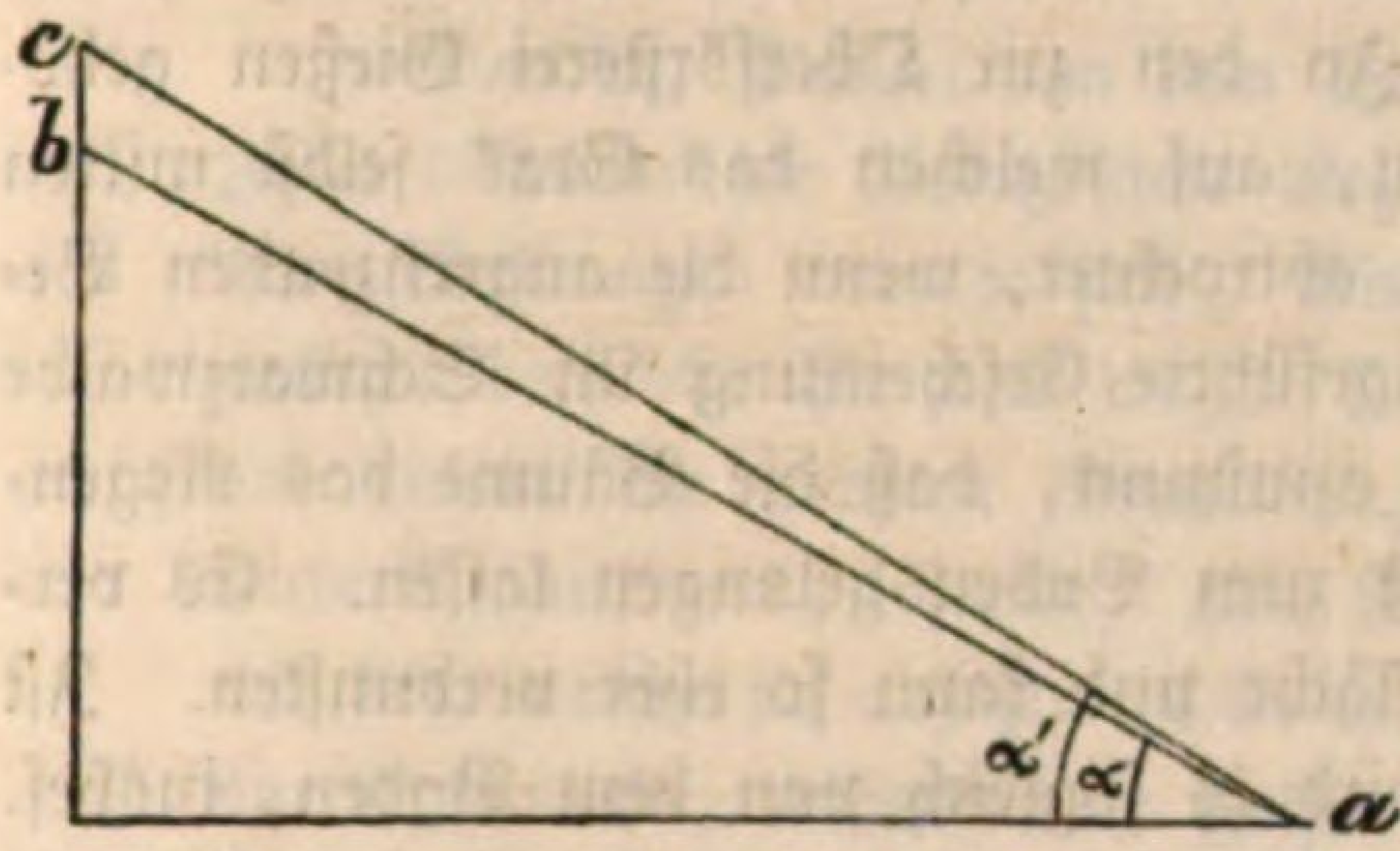
Diese Verminderung des mittleren Wasserstandes wird gewöhnlich der Ausrottung der Wälder zugeschrieben. Obgleich es nun keinem Zweifel unterliegen kann, daß z. B. die Waldungen in der Schweiz durch rücksichtslose Fällungen und Unterlassung des Wiederanbaues im Laufe dieses Jahrhunderts außerordentlich gelitten haben, so wagen wir doch nicht, uns mit Bestimmtheit dafür zu entscheiden, daß der niedere Wasserstand des Rheins von einer Verminderung der jährlichen Regenmenge herrühre. Er kann auch noch auf andern Ursachen beruhen.

Die Pegelhöhe bildet nur dann einen richtigen Ausdruck für die Wassermenge eines Flusses, wenn die Ufer hoch genug sind, um ein Austreten des Wassers zu verhindern. Hat aber der Fluß einmal seine Ufer überschritten, so läßt sich nach dem Stande des Pegels nicht beurtheilen, welche Wassermenge der Fluß mit sich führt, weil jetzt die Basis, auf welcher das Wasser sich bewegt, größer geworden ist. Denken wir uns nun, die Ausrottung der Wälder habe nichts anderes bewirkt, als daß das Meteorwasser schneller in die Flüsse hineingelangt, so werden von Zeit zu Zeit Ueberschwemmungen entstehen, dann aber ein verhältnißmäßig niederer Wasserstand eintreten. Der für die Dauer eines Jahres berechnete mittlere Wasserstand wird sinken, ohne daß der Wasserreichthum des Flusses abgenommen hat.

Die Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser in dem Bette eines Flusses sich fortbewegt, hängt von der Rauhigkeit der Uferwände und des Grundes, ganz besonders aber von der Neigung des letzteren gegen die Horizontale ab. Bezeichnet α den Neigungswinkel, so ist $g \sin. \alpha$ das relative Gewicht, welches die Fallbeschleunigung bewirkt. Da der Sinus mit dem Winkel wächst, so

fällt also ein Körper auf einer schiefen Ebene um so schneller abwärts, je größer der Neigungswinkel α ist. Denken wir uns nun, es sei a b (Fig. 184)

Fig. 184.



die ursprüngliche Lage des Flußbettes, a c deute die Erhöhung an, welche dasselbe durch eine von dem Ursprung des Flusses ausgehende Versandung erfahren habe, so wird, weil jetzt der Neigungswinkel α' größer, als α ist, das Wasser schneller fließen und eine gegebene Wassermasse m sich rascher über die Linie a c vertheilen, demnach die Wasserhöhe sinken. Es kann also unter Umständen blos die Versandung des Flußbettes eine Erniedrigung des Wasserstandes bewirken, ohne daß der Wasserreichthum des Flusses sich vermindert hat.

Zu allem Diesem kommt noch, daß man gar nicht mit Bestimmtheit weiß, ob in den Fluß- und Quellengebieten der Elbe, Oder, Weser, Weichsel ꝛc. Waldausrottungen stattgefunden haben.

Wie oben gezeigt wurde, tragen die Waldungen zur Unterhaltung der Quellen hauptsächlich dadurch bei, daß sie, namentlich in geneigten Lagen, das rasche Abfließen der niedergefallenen Meteorwasser, sowie die Verdunstung derselben verhindern. Wo der Boden nicht abhängig und die Wärme gering ist, da wird die Ausrottung der Wälder keinen nachtheiligen Einfluß auf die Quellen äußern. Dieser Fall tritt auf den Plateau's der Hochgebirge ein. Hier besitzt der Boden, auch ohne die Waldungen, eine schützende Decke durch die Sumpfmoose (vorzüglich aus den Gattungen Sphagnum und Splachnum), welche das Regen- und Schneewasser aufnehmen, und die Verdunstung ist durch eine niedere Temperatur gehemmt. Unter den angegebenen Verhältnissen sehen wir denn auch, daß die Waldungen nicht allein die Ansammlung der Bodenfeuchtigkeit nicht begünstigen, sondern sogar das Entstehen von Versumpfungen hindern. Es wird nämlich an solchen Orten die Verdunstung weniger von der Temperatur (weil diese an und für sich gering ist), als vielmehr vom Luftzug, insbesondere aber davon abhängen, daß das Wasser über eine größere Fläche vertheilt ist. Hier wird also das Wasser schneller verdunsten, wenn es an den Blättern ꝛc. der Bäume haftet, als wenn es auf dem Boden sich befindet. Entscheidende Beobachtungen über Sumpfbildung unter dem Schirm der Bäume liegen aus dem Schwarzwalde vor.

Nicht weit von Wildbad und noch an einigen andern Orten des Würtembergischen und Badischen Schwarzwaldes hat man bemerkt, daß nach dem Fällen der Tannen und Fichten sogleich ein kleiner Sumpf entsteht. Pflanzt man einen neuen Baum auf die Stelle, so verschwindet der Sumpf wieder

36 *

Man hat geglaubt, diese Erscheinung durch die Verdunstung der Bäume erklären zu können; dies kann aber nicht richtig sein, denn in der Ebene findet das Gegentheil statt; hier entfernt man die Sümpfe in den Waldungen, indem man die Bäume niederschlägt. In den zur Oberförsterei Gießen gehörenden Waldungen gibt es Schneißen, auf welchen das Gras selbst mitten im Sommer feucht ist, und nur dann abtrocknet, wenn die angrenzenden Bestände gefällt werden. Die oben angeführte Erscheinung im Schwarzwalde erklärt sich wohl richtiger, wenn man annimmt, daß die Bäume das Regenwasser auffangen und nicht so schnell zum Boden gelangen lassen. Es vertheilt sich hier auf eine größere Oberfläche und kann so eher verdunsten. Ist dagegen kein Baum vorhanden, so wird es sogleich von dem Boden, insbes. von den Sumpfmoosen, welche sich alsbald nach dem Abtrieb des Waldes erzeugen, aufgenommen und verdunstet nun wegen der kleineren Oberfläche viel langsamer. Alles dieses findet aber nur an solchen Orten statt, wo die Verdunstung an und für sich durch eine niedere Temperatur der Luft erschwert ist, also im Hochgebirge. Hier wird man daher durch Abtrieb der Fichten- und Tannenwaldungen unter Umständen die Nachhaltigkeit und Ergiebigkeit der Quellen nicht stören können. Die lichtkronigen Holzarten, z. B. Kiefern, Lärchen 2c. gewähren nicht in dem Maße Schutz gegen die Versumpfungen, wie die bis zum Boden herab beasteten Fichten und Tannen.

In solchen Gebirgen, welche keine Sümpfe enthalten, oder wo der Boden, wenn er blosgelegt worden ist, sich nicht sogleich mit Torfmoosen bedeckt, hat der Waldabtrieb stets zur Folge, daß die niedergefallenen meteorischen Niederschläge rasch abfließen und dadurch oft Ueberschwemmungen in den Thälern und in der Ebene hervorrufen. Am auffallendsten hat sich dies in Frankreich gezeigt, nachdem 1789 in der Assemblée constituante und 1793 durch den Convent der Verkauf eines großen Theils der Staatswaldungen und die Theilung der Gemeindewaldungen decretirt worden war. Um das durch den Ankauf verausgabte Geld so schnell als möglich wieder zu erlangen, hieb man die Waldungen rücksichtslos nieder, oft blos in der Absicht, um das Holz zu verbrennen und die Asche zu verwerthen. Die Folgen der Entwaldung zeigten sich sehr bald. Napoleon ließ als erster Consul durch den Minister des Innern die Berichte der Präfecten hierüber einholen. Aus allen Departementen liefen Klagen ein. Man wollte gefunden haben, daß die Bäche und Flüsse bald trocken lagen, bald in die furchtbarsten Ueberschwemmungen ausarteten, daß die Erde von den Gebirgen abgeschwemmt werde, daß die Flüsse durch Geschiebe verstopft würden 2c. Namentlich hatte man die Bildung der sog. Gießbäche (torrents) beobachtet, welche man früher kaum kannte. Diese Gießbäche erzeugten sich in den Hohlrissen zwischen den Thälern aus dem Regen- und Schneewasser, welches jetzt nicht mehr allmählig in den Boden eindringen, sondern rasch abfließen mußte. Am verderblichsten zeigte sich die Wirkung der Gießbäche in Alpen-Departements; hier wurde die Ackerkrume ganzer Flu-

ren durch die Fluthen abgeschwemmt und an ihre Stelle ein Haufwerk von Gesteinsbrocken gebracht, welche die Agricultur unmöglich machten.

Sordiez, Präfect von dem Departement Basses-Pyrénées, berichtete im Jahr 1804 an die Französische Regierung: „die Berge nehmen, seitdem sie ihrer Waldungen beraubt sind, kein Wasser mehr auf, es gleitet über die nackte Oberfläche hin und wühlt sie auf, vereinigt sich in großen Massen und richtet die größten Verwüstungen an.“ De Barante, Präfect vom Aude-Departement, schreibt: „die Rhone führt ungeheure Massen von Erde mit sich, welche sie absetzt. Die dem Pflug geöffneten Berge werden bald nur noch nackte, unfruchtbare Felsen aufzuweisen haben; jede Furche ist ein Graben geworden; die Dammerde wird durch die starken Regen in die Flüsse geführt, lagert sich in den unteren Parthien derselben ab und bewirkt dadurch Versumpfungen.“ Saussay, Präfect vom Departement Mont-Blanc, schreibt: „das Gesetz vom 10. Febr. 1793 über die Theilung der Gemeindegüter, hat die Waldungen devastirt; daher rührt die Häufigkeit der Erdstürze und der Gießbäche.“ Jerphanion, Präfect vom Departement Lozère, schreibt: „durch den Abtrieb der Gemeindewaldungen wird die Erde an den Abhängen der Gebirge von dem Regenwasser weggeschwemmt; die Gießbäche richten jedes Jahr die größten Verheerungen in den Cevennen an.“ Fauchet, Präfect vom Departement Var, schreibt: „Wenn der Regen auf die von Gewächsen entblößten Abhänge niederstürzt, so entstehen Gießbäche. Die Flüsse und Bäche bilden, indem sie über ihre Ufer treten, Moräste.“ De Bonnaire, Präfect vom Departement Hautes-Alpes, schreibt: „die Gießbäche furchen die Seiten der Gebirge, bei dem geringsten Gewitter wachsen sie an, reißen Felsen mit sich fort und verwüsten Alles; sie bedrohen die Städte und Dörfer und bedecken ihre Umgebungen mit Trümmern. Der größere Theil der Berge war vor noch nicht langer Zeit mit schönen Waldungen bedeckt, jetzt zeigen die nackten Gipfel nur noch unwirthbare Felsen. Ueberall hat man die Abhänge der Berge entwaldet, tiefe Graben durchfurchen sie; die Gießbäche stürzen sich wüthend an ihnen herab, nehmen die obere Erde mit sich, bilden Ueberschwemmungen in den Thälern und füllen diese mit Schutt an.“ Desgoutes, Präfect vom Departement der Vogesen, schreibt: „die Ueberschwemmungen sind häufiger, als jemals, die Maas tritt oft über ihre Ufer.“

c. Einfluß der Waldungen auf die Lawinen.

Nach Kasthofer entstehen die Lawinen niemals durch Zusammenrollen, sondern durch das Abrutschen des Schnee's. Er unterscheidet folgende Arten von Lawinen:

α. Staublawinen; sie bilden sich, wenn die Schneemasse an einem Bergabhang zu rutschen beginnt und in Staub auffliegt.

β. Grundlawinen. Die Masse zerstiebt nicht in der Luft, sondern rutscht geschlossen vorwärts.

γ. Gletscherlawinen. Sie bestehen aus geborstenen Gletscherfragmenten.

δ. Rutschlawinen oder Suoggischnee, wenn die Schneedecke auf weniger schiefem Boden nicht zum Fallen oder Losreißen kommt, sondern langsam über die Erde rutscht und hinter jedem Gegenstand, welcher der bewegten Masse widersteht, sich anhäuft, bis er dem Druck weicht, oder der Schnee sich an ihm theilt.

Wenn eine Lawine sich bilden soll, so ist durchaus erforderlich, daß der Boden keine Unebenheit enthalte, denn sonst kann der Schnee nicht zum Rutschen kommen. Das vorzüglichste Mittel, um die Entstehung der Lawinen zu verhindern, besteht also darin, daß man dem Boden künstlich Unebenheiten verschafft. Hierzu eignet sich besonders der Wald. Man muß ihn aber mit dem Femelbetrieb bewirthschaften, damit die Fläche fortwährend bestockt sei. Zu dieser Betriebsart eignen sich nur die schattenertragenden Hölzer, also namentlich die Tanne und Fichte (die Buche kommt in den Hochlagen, wo die Lawinen sich bilden, gewöhnlich nicht mehr fort). Auch der Niederwaldbetrieb würde ganz gut den obigen Zweck erfüllen, wenn nur die Eiche, welche allein zu Schlagholz auf die Dauer taugt, im Hochgebirge fortzubringen wäre.

In den Alpen gibt es Waldungen, welche man nur zum Schutze gegen die Lawinen hält, und bei deren Bewirthschaftung die Holznutzung eine ganz untergeordnete Rolle spielt. Man nennt sie Bannwaldungen.

Nach Kasthofer ist die Ansicht als ob die Wälder die bereits im Rutschen begriffenen Lawinen aufhalten könnten, eine irrige. Selbst der stärkste Wald soll dem Drucke des in der Bewegung begriffenen Schnee's nicht zu widerstehen vermögen. Die Bannwaldungen könnten somit nur dazu dienen, um die Bildung der Lawinen zu verhindern.

4. Einfluß der Waldungen auf die Winde.

Wenn Hügel und Berge die Fähigkeit besitzen, die Winde abzuhalten, oder deren Ungestüm zu brechen, so müssen die Waldungen, namentlich solche, welche mit dem Hochwaldbetrieb bewirthschaftet werden, eine ähnliche Wirkung zu äußern vermögen. Sie bieten durch ihre Höhe ein natürliches Hinderniß für das Fortschreiten der Winde dar, und verlangsamen die Bewegung noch durch die Reibung, welche zwischen den Bäumen, insbesondere den ästigen Baumkronen, und der Luft stattfindet.

Ob nun die Wälder durch diese Eigenschaften einen günstigen oder ungünstigen Einfluß auf das Klima äußern sollen, hängt ganz von der Natur der Winde ab, deren Lauf sie hemmen. Im Süden wird ein gegen die hei-

ßen Winde vorgeschobener Wald wohlthätig für die Gegend sein, welche unmittelbar hinter dem Winde liegt, während man in höheren Breiten es gerne sieht, wenn der Wald die rauhen nördlichen Winde abhält.

Es fehlt nicht an Beobachtungen, welche zeigen, daß die Waldungen einen merklichen Einfluß auf den Zug der Winde ausüben. Am deutlichsten trat derselbe in Frankreich hervor, nachdem die Staatswaldungen verkauft, viele Gemeindewaldungen getheilt und in Folge dieser beiden Umstände viele Wälder ausgestockt worden waren. Es erfroren durch das ungehinderte Wehen des Nordwindes eine ungeheure Zahl Olivenbäume, so daß jetzt im südlichen Frankreich bei weitem nicht mehr soviel Oliven gewonnen werden können, als dies vor der Revolution der Fall war. Auch jetzt ist der Anbau des Oelbaums in jenen Gegenden, wo man keine Sorge für die Winterbewaldung getragen hat, mit großen Schwierigkeiten verbunden.

In Deutschland hat man an vielen Orten beobachtet, daß das Obst nicht mehr gerieth, wenn ein Wald niedergeschlagen wurde, der die rauhen Nordwinde abgehalten hatte. Um wenigstens ein Beispiel zu geben, nennen wir das Dorf Büchenbrunn im Schwarzwald, welches früher durch die Obstcultur ausgezeichnet war, wo aber das Obst sogleich zu mißrathen anfing, nachdem man einen Kahlhieb vorgenommen hatte. Wahrscheinlich wird der Mißstand wieder schwinden, wenn das junge Holz heranzuwachsen beginnt.


In Amerika sollen die Ost- und Nordostwinde immer weiter vordringen, je mehr das Land von Wäldern entblößt wird, während die einst sehr überwiegenden Westwinde in gleichem Verhältnisse abnehmen. Vor 50 Jahren, sagt Williams in seiner History of Vermont, weheten die Ostwinde kaum 10—13 Franz. Meilen landeinwärts; jetzt spürt man sie im Frühlinge oft in 20, und in Vermont selbst in 27 Meilen Entfernung von der Küste (Bronn).

Auffallend ist es, wie die Waldungen dadurch, daß sie gewisse Luftströmungen abhalten, auf den Gesundheitszustand der Bewohner von manchen Gegenden einwirken. So nimmt man an, daß die Ausdünstungen der Pontinischen Sümpfe ihre Schädlichkeit verlieren, wenn sie einen Wald passirt haben, während die Mangle-Waldungen in den Niederungen der Ostküste von Südamerika das Auftreten der Fieber dadurch begünstigen sollen, daß sie den Luftzug hemmen, der die feuchten Schichten der Atmosphäre über den Sümpfen entfernen könnte. Man schlägt die Waldungen in diesen Gegenden nieder, um letztere bewohnbar zu machen.

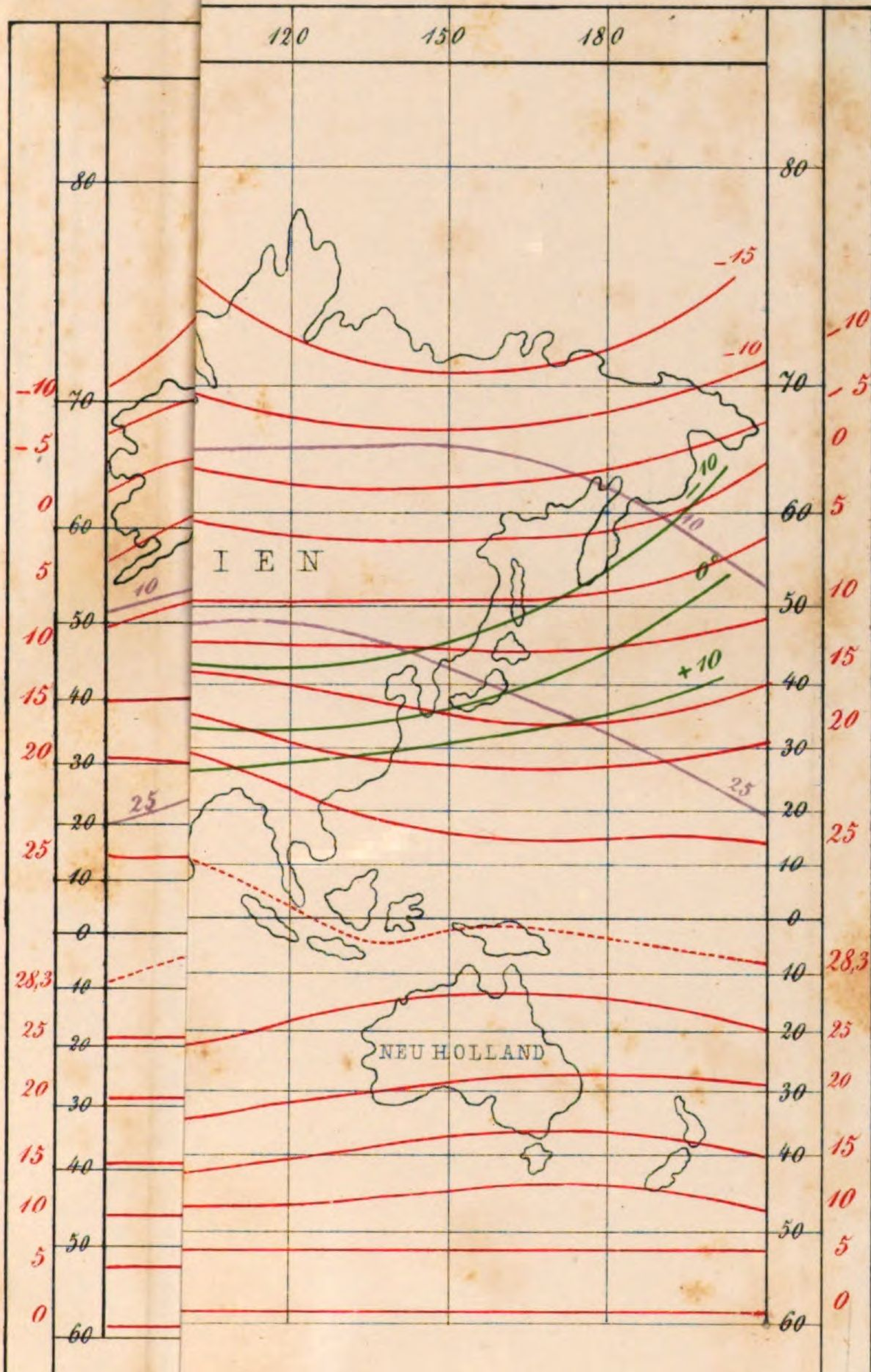
Wie die Wälder die Verbreitung des Flugsandes hindern können, ist früher bereits erwähnt worden.

Druckfehler.

S. 133. Z. 4 v. o. lies 25 — 50% statt 25 — 25%.
S. 195. Z. 8 v. u. „ Temperatur um 12 Uhr.
S. 227. Z. 5. v. u. „ Ramond statt Ramold.
S. 476. Z. 2. v. u. „ rangiferina statt rangifarina.



Alluvium
Diluvium
Molasse
Tegel
Grobkalk
Braunkohlenform.
Kreide
Kreide
Quadersandstein
Waldformation
Jura
Jura
Lias
Trias
Keuper
Muschelkalk
Bunt. Sandstein
Permische Gr.
Zechstein
Kupferschiefer
Roth-Todtlieg.
Steinkohlen
Steinkohlenform.
Bergkalk
Grauwacke
Devon. System
Silur. System
Cambr. System
Krystallinische Schiefergesteine
Granit
Gruenstein
Porphyr
Melaphyr
Basalt
Vulkane



Meeresströmungen.